Е. Айсберг



ТЕЛЕВИДЕНИЕ?... ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО!

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 456

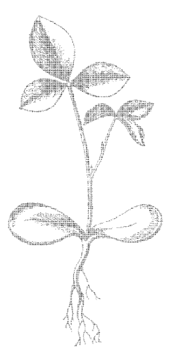
Е. Айсберг

ТЕЛЕВИДЕНИЕ?..



Перевод с французского
К. Н. ГУСНИНОЙ и Ю. С. ГУСНИНА

Под общей редакцией
А. Я. БРЕЙТБАРТА





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

В книге, рассчитанной на широкие круги читателей, помещены 19 бесед, объясняющих работу современных телевизионных передатчиков и приемников.

E. Aisberg
La télévision?.. Mais c'est très simple!
Société des éditions radio, 1960

6Ф3 *Айсберг Евгений*
А11 **Телевидение?.. Это очень просто!**
Перевод с французского К. Н. Гусниной и Ю. С. Гуснина.
М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
136 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 456).
6Ф3

Редактор *Ф. И. Тарасов.* Техн. редактор *Н. И. Борунов*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 3/VIII 1962 г. Подписано к печати 22/I 1963 г. Бумага 70 × 108 1/16. 11,65 печ. л.
Уч.-изд. л. 15,8. Тираж 200 000 экз. Цена 79 коп. Зак. 1792.

Ленинградский Совет народного хозяйства. Управление целлюлозно-бумажной и полиграфической промышленности. Типография № 1 «Печатный Двор» имени А. М. Горького, Ленинград, Гатчинская, 26.

ОТ РЕДАКТОРА

В русский перевод книги Е. Айсберга «Телевидение?.. Это очень просто!» введен ряд изменений в текст и графический материал, необходимость которых диктовалась существенными различиями между французским и советским телевизионными стандартами. К основным различиям относятся число строк разложения, полярность модуляции передатчика изображений, форма сигналов синхронизации, разность несущих частот изображения и звукового сопровождения и их взаимное расположение по шкале частот, тип модуляции передатчика звукового сопровождения. Во Франции действуют два стандарта: более ранний на 441 строку разложения и современный стандарт на 819 строк. Все количественные примеры в книге соответствовали стандарту на 819 строк и были пересчитаны на советский стандарт 625 строк.

Наибольшие изменения в тексте и графике связаны с различием в полярности модуляции передатчика изображений и типом модуляции передатчика звукового сопровождения.

Во французском стандарте принята позитивная модуляция передатчика изображений, при которой наибольшая яркость (белое) передается максимальным значением тока в антенне, а синхронизирующие сигналы, расположенные «чернее черного», занимают область коэффициентов модуляции от 0 до 25%. В советских же передачах принята негативная модуляция, при которой максимальное значение тока в антенне соответствует синхроимпульсам. Основное преимущество передачи с негативной модуляцией заключается в ее значительно большей помехозащищенности.

При позитивной модуляции видеосигнал после детектирования полупериодов положительной полярности также является позитивным сигналом. В силу этой частной особенности французского телевизионного стандарта в книге не проводится различие между термином «сигнал положительной полярности», характеризующим абсолютное распределение сигнала по шкале напряжений, и термином «позитивный сигнал», характеризующим относительное его распределение. При негативной модуляции, например, видеосигнал после детектирования полупериодов положительной полярности является негативным сигналом.

Поэтому позитивный и негативный видеосигналы были неправильно определены в книге как сигналы положительной и отрицательной полярности, что отразилось и на графическом материале. Все необходимые изменения были введены в процессе перевода книги.

Не было также должной четкости в пользовании терминами «полярность напряжения» и «сдвиг по фазе». Несмотря на принципиальную разницу в этих понятиях, первое из которых относится исключительно к распределению сигнала по шкале напряжений, а второе характеризует временные соотношения, неправильное их использование до сих пор встречается в технической литературе. Объясняется это тем, что до зарождения в сравнительно недавнем прошлом техники асимметричных импульсов, где нечеткость в использовании этих терминов может привести к серьезным недоразумениям, техника синусоидальных (симметричных) токов не испытывала особой потребности в разделении этих понятий. Соответствующие изменения также внесены в перевод.

Во французских телевизионных передачах звуковое сопровождение осуществляется по методу амплитудной модуляции, в то время как в Советском Союзе принята значительно более помехозащищенная частотная модуляция. При амплитудной модуляции осуществление звуковой части телевизионного приемника затрудняется. В частности, не представляется возможным применение столь прогрессивного метода, как прием с использованием в качестве промежуточной частоты в канале звукового сопровождения биений между несущими изображения и звука. Повышаются также требования к стабильности частоты гетеродина. Поэтому при переводе были сделаны соответствующие добавления. Кроме того, были включены некоторые современные схемы, отсутствовавшие в оригинале.

Книга «Телевидение?.. Это очень просто!» написана в несколько необычной, занятной манере, которая, несомненно, поможет усвоению и запоминанию достаточно обширных полезных сведений из области телевизионной техники и, в частности, приемной аппаратуры для телевизионного вещания.

А. БРЕЙТБАРТ

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Из всех чудес современности телевидение, бесспорно, наиболее увлекательно. В странах, где телевидение получило широкое распространение, оно внесло глубокие изменения в личную и общественную жизнь.

Сам факт передачи на расстояние изображений высокой четкости граничит с чудом. Тот, кто знаком со всеми преградами, которые нужно было преодолеть, всеми проблемами, которые нужно было решить, едва верит своим глазам, наблюдая за современными достижениями.

В настоящее время телевидение прочно вошло в быт, изменило жизнь многих миллионов семей и явилось могучим средством развлечения и самообразования, хотя иногда, увы, и оглупления. Это изумительное средство, которое, как и эзопов язык, может найти как наилучшее, так и наихудшее применение.

Быстрое развитие телевизионной техники требует привлечения во всех странах большого количества техников. Кроме того, каждый культурный человек стремится познакомиться с этим новым средством связи. Вероятно, именно поэтому многие из моих друзей обращались ко мне с пожеланием, чтобы я выпустил книгу «Телевидение?.. Это очень просто!» по образцу книги «Радио?.. Это очень просто!».

Эта последняя книга, написанная в 1935 г., имела исключительный успех. Она была переведена на несколько языков, а тираж на французском языке превысил 300 000 экз. Много тысяч людей на земном шаре познакомились с радиотехникой благодаря диалогу наших юных друзей Любознайкина и Незнайкина Первый из них знает решительно все, в то время как второй, хотя со многим и не знаком, тем не менее безусловно не глуп.

Напрасно я объяснял своим друзьям, что телевизионная техника не только не проста, но согласно выражению Незнайкина дьявольски сложна, что она затрагивает различные области физики, что положение еще усложняется из-за отсутствия международного стандарта. Ничего не помогло. Я должен был покориться и написать «Телевидение?.. Это очень просто!».

Нужно надеяться, что эта книга появилась как раз вовремя, так как два выпуска первого издания полностью разошлись в течение нескольких месяцев и срочно потребовалось выпустить настоящее второе издание.

Что представляет собой эта книга? Книгу для первого ознакомления с предметом? Возможно, поскольку ее может понять человек, никогда ранее не изучавший телевидение. В то же время, чтобы ее усвоить, необходимо хотя бы элементарное знакомство с радиотехникой. Тот, кто хочет извлечь наибольшую пользу из чтения этой книги, должен знать, как работают многоэлектродные лампы, знать основные схемы усилителей, детекторов и смесителей, хотя бы в пределах книги «Радио?.. Это очень просто!».

В то же время не требуется знания математики. Я старался в первую очередь возможно яснее осветить физические основы описываемых процессов. Если внимательно проследить за траекториями электронов, за изменениями формы сигналов, за соотношением различных напряжений, различные элементы становятся достаточно понятными и разбор схем не представит особого труда.

Стремясь постоянно выявлять наиболее существенное в этом разделе техники, который не стабилизовался ни в пространстве, ни во времени (так как он находится в разгаре развития), я постарался показать все основные элементы телевизионных приемников в различных вариантах.

Я воздерживался от количественного определения параметров элементов схем, поскольку они изменяются в зависимости от стандарта четкости и типа аппаратуры. Эта книга не предназначена для конструкторов телевизионной аппаратуры. Ее целью является ознакомление с принципами работы. Нельзя ведь начать изготовление такой аппаратуры со сколько-нибудь серьезными видами на успех, не зная ее «анатомии и физиологии».

Я старался, чтобы усвоение материала этой книги было возможно более легким, не поступаясь, однако, нигде истиной, не избегая трудностей и не опуская ничего, что было бы полезно будущему телевизионному специалисту.

Любая новая техника неизбежно достаточно сложна. Поэтому читать эту книгу нужно с неослабным вниманием и не следует приступать к новому разделу, не усвоив содержания предыдущих разделов.

Я не пытался расположить материал в порядке возрастающей трудности, поэтому для многих читателей первая беседа окажется, вероятно, наименее легкой.

На основании длительного педагогического опыта я могу судить, что обучению способствует улыбка. Вот почему Любознайкин и Незнайкин в своих беседах будут часто отклоняться от строгого стиля «Диалогов» Платона. Остроумные рисунки на полях, помогая усвоению текста, внесут веселую нотку в беседы наших молодых друзей.

Внимательно следуя за ними, читатель поймет все тайны телевидения и обогатит свои познания. В этом и заключаются наши пожелания.

Е. АЙСБЕРГ

БЕСЕДА ПЕРВАЯ

В книге «Радио?.. Это очень просто!» Любознайкин посвятил своего друга Незнайкина в тайны радиотехники. Теперь он попытался изложить ему принципы телевидения. Начиная с первой же беседы, он введет его сразу в существо дела, изложив, не щадя своего друга, некоторое количество следующих основ этой техники: метровые волны и их распространение; дальность действия телевизионного передатчика; стратосферное телевидение; боковые модуляционные полосы; принцип последовательной передачи элементов изображения; видеосигнал; искажение прямоугольного сигнала и преобразование его в синусоиду; максимальная видеочастота; теснота в эфире; использование метровых волн; соотношение между несущей и модулирующей частотами.

ВИДЕОЧАСТОТА И ВЫСОКАЯ ЧАСТОТА

Дядюшка, живущий не там, где следует

Незнайкин. — Сегодня, дорогой Любознайкин, я хочу с тобой посоветоваться относительно моего дядюшки.

Любознайкин. — Что же с ним случилось?

Н. — Представь себе, что он буквально помешался на телевидении. Вот уже несколько месяцев из-за своего ревматизма он должен сидеть дома. И этот страстный любитель кино лишен своей еженедельной порции фильмов. Вот он и поручил мне соорудить ему телевизор, чтобы доставить «фильмы» на дом.

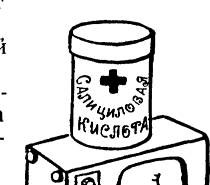
Л. — Вот превосходная мысль! Для тех, кто прикован болезнью к постели или по крайней мере к креслу, телевидение является еще бóльшим благодеянием, чем радио... С удовольствием помогу тебе, Незнайкин. Начнем с посещения твоего дядюшки, чтобы определить, где установить антенну.

Н. — Боюсь, что для посещения это далековато, ведь дядюшка живет в Иль д'Ие [1].

Л. — О, что же ты не сказал об этом сразу! В таком случае пошли ему достаточное количество салицилки. Что же касается телевизора, он будет напрасно загромождать его помещение.

Н. — Почему же? Разве он не сможет принимать передачи Эйфелевой башни?

Л. — Никоим образом. Надежная дальность ее передач почти не превышает 80 *км*. При благоприятных условиях передачи можно принимать на еще большем расстоянии. Но в Иль д'Ие нет никакой надежды на удовлетворительный прием изображений из Парижа.



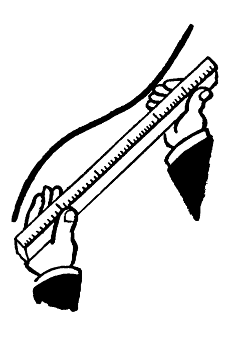
Земля — это шар

Н. — Почему же не увеличивают мощность телевизионного передатчика?

Л. — Потому что это ненамного увеличило бы дальность действия. Телевидение передается на волнах метрового диапазона, т. е. имеющих длину от 1 до 10 *м*. Метровые волны обладают свойствами, сближающими их со световыми, длина которых, однако, гораздо меньше. Так же как и световые, метровые волны распространяются по прямой линии, тогда как короткие и в особенности длинные волны довольно легко искривляют свой путь, хотя бы для того, чтобы обходить некоторые препятствия или огибать земной шар.

Н. — Значит ли это, что для приема метровых волн с места расположения приемной антенны нужно видеть передающую антенну?

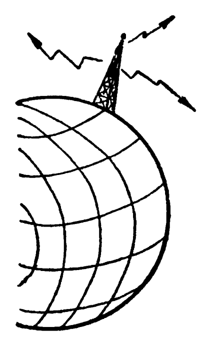
Л. — Это условие «оптической видимости» желательно, но не обязательно. Метровые волны все же не обладают строгой прямолинейностью световых лучей и могут огибать небольшие препятствия. Кроме того, не забудь, что диэлектрики не препятствуют распространению электромагнитных волн. Но земной шар должен рассматриваться как проводник и на этом основании...

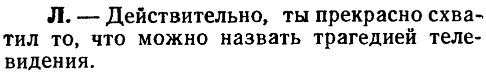


Н. — Подожди. Мне кажется, я понимаю. Очевидно, Земля является препятствием для волн. А так как Земля круглая, то за пределами некоторого расстояния от передатчика (рис. 1) ее кривизна скрывает от нас передающую антенну. Волны проходят над нашей головой, все более удаляясь от Земли, и теряются в верхних слоях атмосферы.

---

[1] I'lle d'Yeu — островок в Атлантическом океане у берегов департамента Вандея, приблизительно в 380 *км* от Парижа. *Прим. перев.*





Л. — Действительно, ты прекрасно схватил то, что можно назвать трагедией телевидения.

Н. — Почему «трагедией»?

Л. — Потому что из-за незначительной дальности действия передатчиков необходимо устанавливать их в большом количестве для покрытия всей территории страны, а это стоит очень дорого.



Рис. 1. Дальность действия передатчика метровых волн ограничена зоной видимого горизонта.

Незнайкин метит очень высоко

Н. — Должно же все-таки существовать какое-то средство, помогающее в этом трудном положении! Может быть, можно ловить волны, бесполезно проходящие над головами людей на слишком большом удалении от передатчика, с помощью очень высоких антенн, поднятых на воздушных змеях или аэростатах.

Л. — Дело до этого не доходит. Но стараются использовать антенны, расположенные как можно выше. Поэтому всегда выгодно располагать передающую антенну в самом высоком пункте какого-либо района. Вот почему парижская передающая антенна помещена на верхушке Эйфелевой башни.

Н. — Действительно, таким образом можно получить бо́льшую дальность действия. Но почему же не пойти дальше по такому верному пути?

Л. — Что ты хочешь этим сказать?

Н. — Можно было бы производить передачи с большой высоты: достаточно было бы поместить передатчик на самолет. Передвигаясь в стратосфере, он мог бы облучать всю Францию метровыми волнами... к величайшей радости дядюшки Жюля...

Л. — Поздравляю с прекрасной идеей! Но техники предусмотрели эту возможность гораздо раньше тебя. Одно время было много шума вокруг стратосферных телевизионных передач. Однако их практическое использование оказалось очень трудным.

Незнайкин раздосадован

Н. — Но в конце концов почему мы вынуждены осуществлять телевидение на метровых волнах?! Не потому ли, что, появившись последним, оно было помещено на задворках длин волн? Разве нельзя было, отделавшись от трех или четырех радиовещательных передатчиков, отвести телевидению подходящее место в диапазоне коротких или длинных волн? Я прекрасно знаю, с какой остротой оспаривают распределение свободных частот. Но пойми, что на одной только волне между 200 и 600 *м* достаточно мощный передатчик обслуживал бы бо́льшую часть страны...

Л. — Ты частенько допускаешь ошибки, мой дорогой. Но никогда не изрекал ты такой несусветной чепухи! Допустить, что телевидение уместилось бы в диапазоне волн длиннее 200 *м*, это все равно, что заставить слона войти в раковину улитки.

Н. — То, что ты говоришь, вероятно, весьма остроумно. Но я смиренно сознаюсь, что не вижу связи между телевидением и слоном.

Л. — Не сердись... Ты лучше поймешь правильность моего сравнения, если рассмотришь свойства сигнала, используемого для передачи изображения. Ты увидишь тогда, насколько он отличается от низкочастотных сигналов, которые позволяют передавать с помощью электрического тока звук,



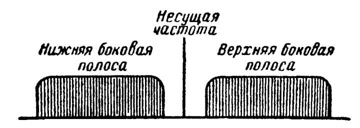


Рис. 2. Кроме несущей частоты, спектр содержит две боковые полосы.

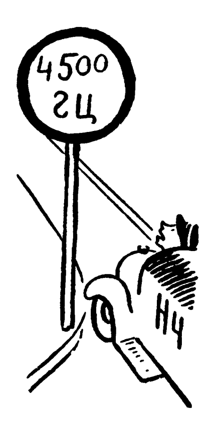
попадающий на микрофон радиовещательного передатчика. Ты помнишь границы его частот?

Н. — Прекрасно помню. Самый низкий тон имеет 16 *гц*. Наиболее высокий, еще различаемый ухом, имеет 20 000 *гц*. Но практически диапазон частот, передаваемых обычными радиовещательными передатчиками, ограничивается частотой 4 500 *гц*.

Л. — Чудесно! А чем же вызвано это ограничение?

Н. — Желанием уменьшить то, что ты когда-то называл «теснотой в эфире». Каждая радиопередача занимает на шкале частот, кроме несущей частоты, две боковые симметричные полосы, содержащие все модуляционные частоты (рис. 2). Когда они ограничены частотой 4 500 *гц*, общая ширина, занятая двумя боковыми полосами, будет, следовательно, 9 000 *гц*. Выше ли она в телевидении?

Л. — О да, намного!.. Но, прежде чем говорить об этом, сможешь ли ты кратко изложить, каким образом происходит передача изображений?



Все телевидение в нескольких строках

Н. — Я попробую. Так как нельзя передавать одновременно все элементы изображения, их передают последовательно. Свечение каждого элемента...

Л. — Точный термин — я р к о с т ь.

Н. — Хорошо. Итак, яркость каждого элемента (я подразумеваю под этим словом элементарную площадку, достаточно малую, чтобы глаз не различал деталей в ее пределах) преобразуется в пропорциональное ей напряжение. Таким образом, сильно освещенная белая поверхность дает максимум напряжения, тогда как черная площадка дает нулевое напряжение.

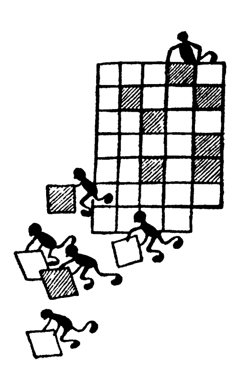
Л. — Или по крайней мере наименьшее. А каким образом просматриваются все элементы изображения?

Н. — Их пробегают точно так же, как взгляд пробегает последовательно все буквы страницы. Каждую букву можно уподобить одному элементу изображения. Все элементы «прочитываются» таким образом строка за строкой. Совокупность этих строк составляет страницу, которую можно уподобить всему изображению. И когда мы таким образом просмотрели одну страницу, мы сейчас же приступаем к следующей.

Л. — Совершенно верно. А в каком темпе производится это чтение? Знаешь ли ты это?

Н. — Ну да. Для сохранения глазом ощущения непрерывности нужно, чтобы, как в кино, отдельные изображения, или кадры, очень быстро следовали друг за другом. В Европе принят стандарт 25 кадров в секунду (вдвое меньше частоты электрической сети); в США, где частота сети питания 60 *гц*, телевидение передает 30 кадров в секунду.

Л. — При такой кадровой частоте 800 страниц какой-нибудь книги «прочитываются» телевизионным передатчиком приблизительно за полминуты.



Из ничего ничего и не бывает

Н. — Это поразительно! Теперь я начинаю понимать, насколько сигнал, передающий изображение, богаче содержанием того, который передает звук, колеблющий мембрану микрофона.

Л. — Однако ничто даром не дается. Если хотят передать с помощью радиоволн столь обширное послание, в котором за $1/25$ *сек* описаны относительные яркости всех элементов изображения, то нужно передать напряжение, состоящее из самых разнообразных частот, достигающих очень высоких значений и, следовательно, определяющих очень широкие боковые модуляционные полосы.

Н. — Можно сказать, что к законам сохранения материи и энергии добавляется другой аналогичный закон, не допускающий передачи в заданный интервал времени определенного количества информации, если для этого не обеспечена достаточно широкая полоса частот.

Л. — Ты прав, Незнайкин. Такой закон в природе существует. И стараться обойти его, пытаться передать некоторое количество информации (я употребляю этот термин в самом широком смысле, так как он так же хорошо может относиться к чередованию более или менее сложных звуков или к передаче более или менее деталированной части изображения, или же к телеграфному сообщению), не имея для этого необходимой полосы частот, так же бесполезно, как пытаться осуществить вечное движение без пополнения энергии извне.

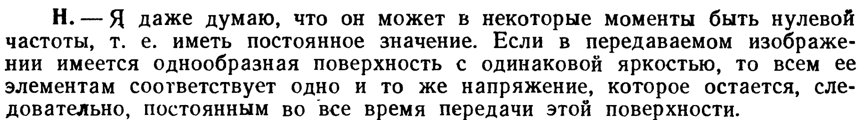


В царстве видеочастот

Н. — Как определить частоты, используемые в телевидении?

Л. — Сигнал, соответствующий яркости последовательно просматриваемых э л е м е н т о в р а з л о ж е н и я, называется в и д е о с и г н а л о м[1]. Это в сущности то же, чем является низкая частота в радиовещании. Он может содержать большое количество разных частот.

[1] От латинского глагола videre — видеть.



Н. — Я даже думаю, что он может в некоторые моменты быть нулевой частоты, т. е. иметь постоянное значение. Если в передаваемом изображении имеется однообразная поверхность с одинаковой яркостью, то всем ее элементам соответствует одно и то же напряжение, которое остается, следовательно, постоянным во все время передачи этой поверхности.

Л. — Правильно. Но если элементы вдоль линии разложения или строки не будут иметь одинаковую яркость, то напряжение сигнала будет меняться. Ты угадываешь, в каком случае эти изменения самые быстрые, т. е. частота видеосигнала максимальна?

Н. — Я полагаю, что это происходит, когда два соседних элемента одной строки различаются своей яркостью.

Л. — Твой ответ доказывает, что ты хорошо разобрался в вопросе. В самом деле, максимальной частоте соответствует последовательное чередование белых и черных элементов. Так, например, это случай, когда изображение содержит серию черных вертикальных полосок, ширина каждой из которых равна ширине элемента изображения, разделенных белыми промежутками той же ширины.

Н. — В этом случае каждый передаваемый элемент дает один период сигнала.

Л. — Ты слишком торопишься, Незнайкин, и это вводит тебя в заблуждение. На самом деле черной полоске соответствует небольшое напряжение, а белой — максимальное. Таким образом, два соседних элемента, один черный и другой белый, передаются одним отрицательным и одним положительным полупериодами, составляющими вместе целый период. А так как за один период передаются два элемента изображения, то общее число периодов равно...

Н. — ...половине количества элементов изображения.

Л. — Ты, я вижу, очень хорошо следил за моими рассуждениями.



От теоретических зубцов к реальной синусоиде

Н. — Форма этого видеосигнала ужасно забавна. Можно подумать, что это зубцы средневековой башни. Им далеко до прекрасных синусоид в радиовещании.

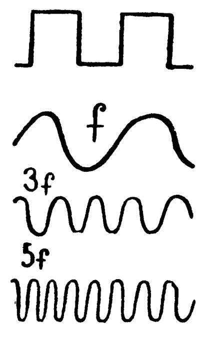
Л. — Не настолько, как ты думаешь. И это по двум соображениям: прежде всего периодическое напряжение такой формы (его называют *прямоугольным сигналом*) может быть разложено на очень большое число синусоидальных составляющих, из которых основная имеет частоту прямоугольного сигнала, а остальные имеют частоты, в 3, 5, 7 и т. д. раз бо́льшие.

Н. — Ведь это то, что называют рядом Фурье? Верно?

Л. — Да, когда хотят напустить на себя важность. Но, в самом деле, откуда ты это знаешь?

Н. — Мне случалось читать очень серьезные книги.

Л. — Тем лучше! Ты тогда должен знать, что многочисленные частотные составляющие называются *гармониками*. В случае видеосигнала они вряд ли пройдут через усилитель. Так как основная частота очень высока, то частота



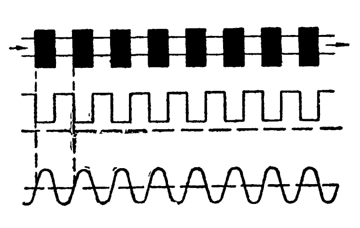
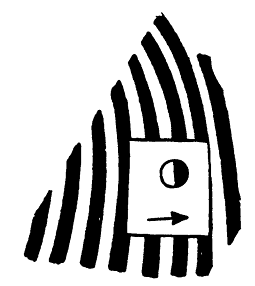


Рис. 3. Когда изображением является последовательность попеременно чередующихся вдоль строки белых и черных элементов (верхняя часть рисунка), сигнал видеочастоты теоретически прямоугольный (средняя часть рисунка), а практически синусоидальный (нижняя часть рисунка) содержит столько же периодов, сколько всего пар черных и белых элементов.

гармоник и подавно высока. И даже широкополосный усилитель не рассчитывается на пропускание этих очень высоких частот. Поэтому на его выходе (рис. 3) останется лишь одна-единственная основная синусоида [1].

Н. — Тем лучше, так как твое зубчатое напряжение ничего мне не говорит. А каково второе соображение, на которое ты только что сослался?

[1] Автор допускает неточность. Сигнал самой высокой частоты, как это следует также из последующего текста, очень близок по форме к синусоиде и почти не содержит гармоник вследствие того, что размеры анализирующего элемента (*апертуры*) и элемента изображения сравнимы по величине. Это явление носит наименование *апертурных искажений*. *Прим. ред.*



Л. — Сделаем небольшой опыт. Возьмем этот кусок бумаги и проделаем в нем небольшое круглое отверстие таких же размеров, как и элемент изображения. Я заставляю медленно скользить мою бумажку по черным и белым полоскам, составляющим наше изображение.

Н. — Ты, значит, производишь анализ изображения так же, как это производится в телевидении.

Л. — Ну да. Говорят также разложение или развертывание изображения. Ты видишь (рис. 4), что в некоторые моменты отверстие находится целиком либо на черной, либо на белой полоске. Но перемещение из одного положения в другое происходит отнюдь не мгновенно. Мы проходим через все промежуточные положения, когда бóльшая или меньшая часть развертываемого

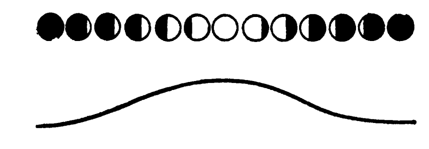


Рис. 4. Формирование одного периода видеочастоты (нижняя часть рисунка) для нескольких последовательных фаз разложения изображения (верхняя часть рисунка).

элемента черная, тогда как другая часть — белая. Отодвинься настолько от бумажки, чтобы ты не мог больше различать двух частей элемента изображения, ограниченных отверстием.

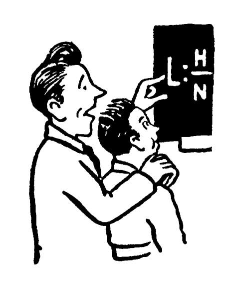
Н. — Ты, конечно, хочешь, чтобы я оказался в условиях, точно соответствующих определению элемента изображения, которое я только что дал: площадка достаточна малая, чтобы глаз не различал никаких деталей в ее пределах?

Л. — Ну, конечно. А вот теперь, когда отверстие медленно перемещается, что ты видишь?

Н. — Я различаю только средний тон того, что видно через отверстие. В соответствии с соотношением черного и белого я вижу более или менее темную серую поверхность. А когда ты передвигаешь бумажку, поверхность в пределах отверстия изменяется от черного до темно-серого цвета, который быстро светлеет и становится белым, затем снова темнеет и становится черным. Затем все повторяется.

Л. — Отгадай, каков же характер напряжения, которое должно передать эти изменения средней яркости?

Н. — Уверен, что мы вышли из трудного положения: я хочу сказать, что мы опять вернулись к нашей доброй старушке синусоиде.



Немного алгебры

Л. — Попытаемся теперь подсчитать максимальную частоту, которую может иметь эта синусоида. Посмотрим сначала, на сколько элементов разбито изображение. Допустим, что его высота H и ширина L (рис. 5). Она развертывается с помощью N горизонтальных линий (строк), причем в секунду передается n целых изображений.

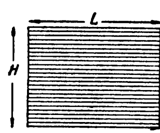
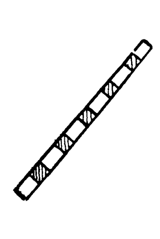


Рис. 5. Относительные размеры растра.

Н. — Все это как будто попахивает алгебраической задачей...

Л. — Тем хуже для тебя, если это так... Предположим, что элемент изображения квадратный, т. е. что четкость передачи одинакова в вертикальном и горизонтальном направлениях. В этом случае высота квадрата равна общей высоте H, разделенной на число строк N, т. е. равна $\frac{H}{N}$, и в каждой строке длиной L содержится

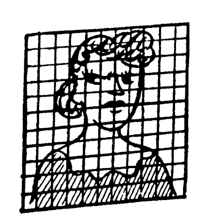


$$L:\frac{H}{N}=\frac{LN}{H} \text{ элементов.}$$



Поскольку всего N строк, изображение будет разложено на

$$\frac{LN}{H}N=\frac{LN^2}{H} \text{ элементов.}$$



Н. — До сих пор мне все кажется логичным.

Л. — Так оно будет и дальше. Все элементы, составляющие изображение, передаются n раз в секунду, что дает $\frac{LN^2n}{H}$ элементов в секунду. Но так как одного периода достаточно для передачи двух элементов изображения, то для передачи всех элементов потребуется вдвое меньше периодов, т. е. $\frac{LN^2n}{2H}$ *гц*.

Эта формула не абсолютно точна, так как она не учитывает потери времени на сигналы синхронизации, о которых мы будем говорить в другой раз. Но в данный момент этого вполне достаточно, чтобы определить максимальную видеочастоту.

Немного арифметики

Н. — И что же дает это выражение для конкретной передачи?

Л. — А вот ты подсчитай. Изображение имеет такой формат, что соотношение $\frac{L}{H}=\frac{4}{3}$. Мы его развертываем на $N=625$ строк и $n=25$ изображений в секунду. Ну-ка быстрей, Незнайкин!

Н. — Мы, следовательно, имеем $\frac{4 \cdot 625^2 \cdot 25}{2 \cdot 3}=6\,500\,000$ *гц*. Ничего себе! Видеочастота превышает шесть миллионов!

Л. — Реально передаются частоты до 6 *Мгц*. И ты заметь, что максимальная частота пропорциональна квадрату числа строк. Таким образом, если перейти от 625 строк к разложению на 1 000 строк, то видеочастота достигнет почти 17 *Мгц*.

Н. — Ты меня всем этим совершенно ошеломил.

Возвращение к слону

Л. — Ты по-прежнему упорствуешь в своем намерении уделить телевидению «небольшое местечко» в диапазоне средних волн?

Н. — Он простирается от 200 до 600 *м*, следовательно, от 1 500 000 до 500 000 *гц*. Весь интервал равен 1 000 000 *гц*. В то же время телевизионная передача с боковыми полосами растягивается на 12 000 000 *гц*. Следовательно, она в 12 раз больше общей протяженности средневолнового диапазона. Решительно слон не умещается в раковине улитки.

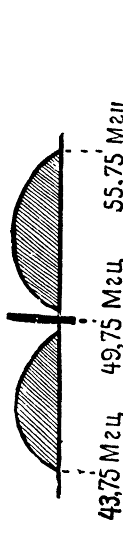
Л. — Очень приятно это слышать. Ты теперь понимаешь, почему необходимо прибегать к метровым волнам, чтобы передать модуляцию видеочастотой. Например, на частоте 49,75 *Мгц* боковые полосы будут ограничены следующими пределами:

$$49\,750\,000 - 6\,000\,000 = 43\,750\,000 \text{ гц}$$

и

$$49\,750\,000 + 6\,000\,000 = 55\,750\,000 \text{ гц},$$

что вполне приемлемо.



Н. — Нужно ли, по правде говоря, так далеко забираться? Нельзя ли использовать, например, частоту 12 *Мгц*, т. е. 25 *м*, что позволит уместить модуляцию между

$$12\,000\,000 - 6\,000\,000 = 6\,000\,000 \text{ гц}$$

и

$$12\,000\,000 + 6\,000\,000 = 18\,000\,000 \text{ гц}?$$

Л. — Пойми, что длины волн, соответствующие этим частотам, составляют 50 и 16,5 *м*. Ты, стало быть, хочешь занять весь диапазон коротких волн между 16,5 и 50 *м* только одной телевизионной передачей?

Н. — Я признаю, что это было бы неразумно.

Жизненный минимум высокой частоты

Л. — Существует правило, согласно которому высокая частота не может быть одного порядка с модулирующей частотой. Чтобы модуляция производилась без искажений, нужно, чтобы несущая частота была во много раз выше частоты модуляции.

Н. — Почему же?

Л. — Потому, что без этого модулированная волна не сможет точно воспроизвести модулирующее напряжение. Взгляни на синусоиду, которая здесь нарисована (рис. 6). Допустим, что это сигнал, который нужно передать. Если частота несущей превышает частоту этого сигнала, например, в отношении $^8/_3$, то мы передадим соответствующие мгновенные значения только с

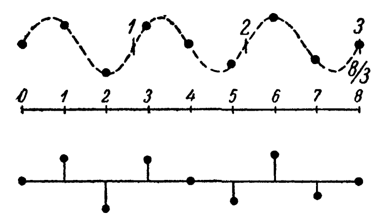
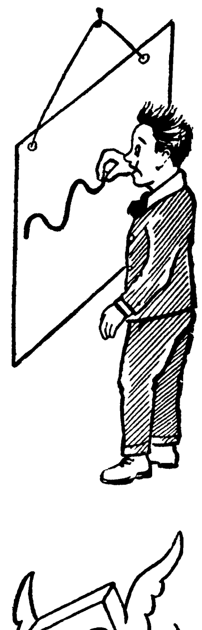


Рис. 6. При передаче синусоидального сигнала, представленного вверху синусоидой, с помощью несущей частоты, восемь периодов которой приходятся на три периода сигнала, передаваемому сигналу соответствуют редко расположенные значения, представленные внизу, которые не позволяют восстановить форму сигнала.



очень большими интервалами и получим ряд отдельных значений, по которым будет невозможно при всем желании воспроизвести закон синусоидального изменения. Но возьми несущую волну с частотой, в 8 раз большей

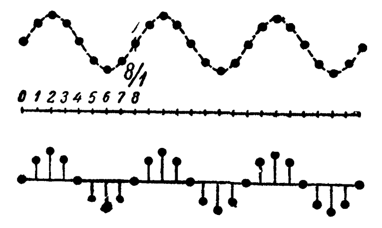


Рис. 7. Если на каждый период синусоидального сигнала приходится восемь периодов несущей частоты, то при этом передается достаточно большое количество мгновенных значений сигнала, чтобы он мог быть надлежащим образом воспроизведен.



частоты сигнала (рис. 7). Последовательность переданных величин позволит легко воспроизвести форму модулирующего напряжения.

Н. — Это все равно, что растр газетных фотографических клише. Если растр слишком крупный, детали клише пропадают.

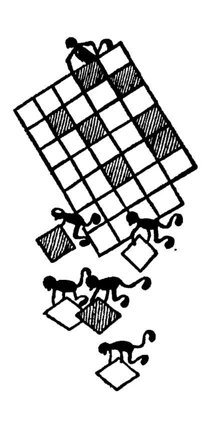
Л. — Это неплохое сравнение.

Тем хуже для дядюшки!

Н. — Резюмирую все, о чем мы сегодня говорили. Передача изображений требует сигналов, занимающих очень широкую полосу частот. Эти сигналы могут передаваться только несущими волнами очень высокой частоты в диапазоне метровых волн. Распространяясь по прямой линии, они имеют радиус действия, ограниченный видимым горизонтом. Отсюда следует, что у моего дядюшки не будет телевидения.

Л. — Я страшно огорчен за него. Но что касается тебя, то ты узнал некоторое количество полезных сведений...

Н. — ...которые мне показались сначала дьявольски сложными, но которые по сути дела, может быть, и очень просты.



БЕСЕДА ВТОРАЯ

Чтобы понять действие аппаратуры современного телевидения, нет необходимости изучать всю историю этой области техники. Однако изучение способов разложения изображения значительно облегчится в результате предварительного изложения классической «механической» системы телевидения, предложенной Нипковым. Незнайкин легко поймет метод, который впервые дал возможность передачи движущихся изображений на расстояние. В ходе этой беседы Любознайкин, следовательно, затронет следующие вопросы: диск Нипкова; разложение изображения; чересстрочная развертка; фотоэлемент; передатчик изображений; синхронизм; приемник с неоновой лампой; недостатки механических систем телевидения.

ПУТЕШЕСТВИЕ В ПРОШЛОЕ

Головокружительные опыты Незнайкина



Любознайкин. — Боже мой! Что с тобой, Незнайкин, почему ты кружишься вокруг себя? Ты упражняешься в ремесле вертящегося дервиша?

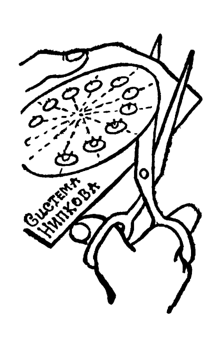
Незнайкин. — Да вовсе нет! Я просто пробую читать так, чтобы, дойдя до конца строчки, не переводить взгляда обратно, налево, к началу следующей строчки.

Л. — А зачем это?

Н. — Потому, что я думаю о развертке изображения в телевидении, о котором мы говорили в последний раз. Ты мне объяснил, что последовательное разложение элементов производится, как чтение книги: строчка за строчкой. Принимая во внимание огромную скорость, с которой должно производиться это чтение, я хотел бы избежать потери времени, вызванной необходимостью возвращения к началу строк. Вот почему, пробежав, поворачиваясь, одну строку, я продолжаю быстрое вращательное движение вокруг самого себя, чтобы после каждого оборота мой взгляд снова попал на начало строк.

Л. — Не думаю, чтобы таким образом ты выгадал время. Самое большее — ты заработаешь на этом головокружение... Но этот способ развертки, который можно назвать «без обратного хода по строкам», характерен для большей части механических способов анализа.

Немного геометрии



Н. — Неплохо, если бы ты об этом поговорил. Потому что все, что ты до сих пор объяснял, довольно абстрактно. Очень мило сказать, что производят последовательную развертку элементов изображения. Но как это происходит в действительности?

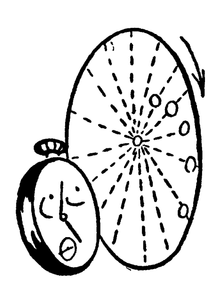
Л. — Я предпочел бы не описывать тебе механические способы, потому что они уступили место электронным. Но, может быть, ты лучше поймешь электронные методы, если я тебе расскажу об одном из самых простых и самых старинных устройств — диске Нипкова.

Н. — Я смутно припоминаю, что об этом что-то говорили, но никакого точного представления об этом у меня нет.

Л. — Мы сейчас изготовим один диск. Вот лист чертежной бумаги. Я вычерчиваю на нем (рис. 8) с помощью циркуля круг радиусом приблизительно 10 *см* и вырезаю диск. Затем черчу на нем 16 окружностей радиусами 60, 62, 64 и т. д. до 90 *мм*. Наконец, делю внешнюю окружность на 16 равных частей...

Н. — Решительно, после того как мы занимались арифметикой и алгеброй, мы теперь в разгаре геометрии. Затем мы перейдем к интегральному исчислению...

Л. — До этого мы еще не дошли. Закончим же рисунок. Я провожу 16 радиусов, проходящих через равноотстоящие точки внешней окружности. Все эти вспомогательные линии мне нужны были для того, чтобы определить





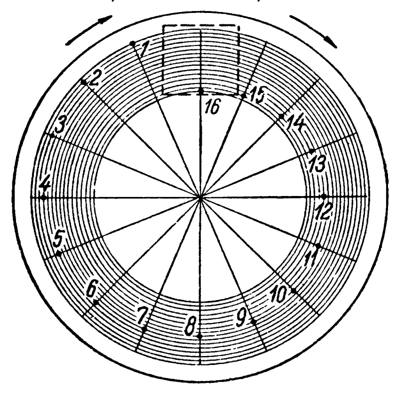
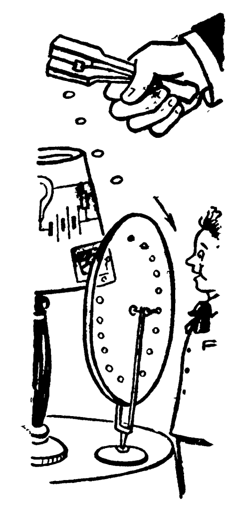


Рис. 8. Расположение отверстий по спирали на диске Нипкова.

точки спирали. В самом деле, я обозначаю пересечение первого радиуса с внутренней окружностью, затем пересечение следующего радиуса (в направлении движения часовой стрелки) со следующей окружностью и т. д.

Н. — В самом деле, таким образом ты получаешь 16 точек, расположенных на спирали. Ну и что ты с ними будешь делать?



Рассматривая через отверстия диска

Л. — Я пробиваю в диске пробойником совершенно круглые отверстия диаметром немного более 2 *мм*. И вот диск Нипкова готов.

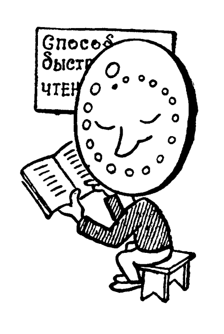
Н. — И ты серьезно намерен воспользоваться им для развертки изображения?

Л. — Да, у меня твердое намерение. Вот небольшой очень простой рисунок размером около 3 *см*. Я его прикалываю к абажуру лампы, а диск очень быстро вращаю, используя в качестве оси вязальную спицу.

Н. — Ах, вот что!.. Я вижу рисунок так, как если бы диск был прозрачным.

Л. — Теперь, чтобы лучше понять, что происходит, я вращаю диск очень медленно.

Н. — Я понял! Ведь это тот же кусок бумажки с круглым отверстием? Однако значительно усовершенствованный. Когда диск вращается, первое отверстие пробегает строку (она, правда, не совсем прямая — это дуга окружности; но это ничего не меняет). Как только оно закончит свою строку, следующее отверстие выступает на сцену, чтобы в свою очередь пройтись вдоль строки изображения. И таким образом одно за другим все отверстия, начиная с наружного и кончая самым близким к центру, пробегают все строки изображения.



Л. — А когда все изображение таким образом развернуто...

Н. — ...все опять начинается сначала с новым поворотом диска.

Л. — Ты установил, что при условии достаточно быстрого вращения диска изображение видно целиком, тогда как на самом деле в каждый данный момент лишь один из его элементов появляется в одном из отверстий диска.

Н. — Я устанавливаю также, что диск читает на манер дервиша-вертуна, т. е. не возвращаясь к началу строк движением, обратным направлению чтения. Я вижу, однако, что надо вращаться очень быстро для получения ощущения одновременного видения всех элементов.

Диковинный способ чтения



Л. — В самом деле, если я хоть слегка замедляю вращение, то изображение имеет такой вид, как будто через него попеременно пробегают черные и белые волны. Это происходит оттого, что световые ощущения длятся недолго.

Н. С какой скоростью нужно, следовательно, развертывать изображение во избежание мерцания, наблюдаемого, когда диск вращается недостаточно быстро?

Л. — Чтобы добиться хороших результатов, нужно развертывать 30 изображений в секунду.

Н. — Это то, что делают американцы. Но в Европе, ты мне сказал, довольствуются 25 изображениями в секунду. Разве этого достаточно? Не лучше ли было бы увеличить частоту кадров?

Л. — Не забудь, что максимальная частота видеосигнала пропорциональна числу кадров в секунду. Не рекомендуется чем бы то ни было увеличивать эту и так уже слишком высокую частоту. Существует, к счастью, остроумный прием, позволяющий избегать мерцания без расширения полосы передаваемых частот. Это ч е р е с с т р о ч н а я развертка.

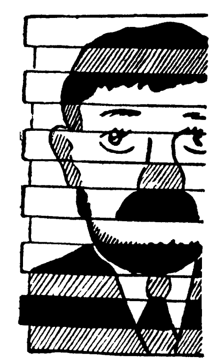


Н. — Что ты под этим понимаешь?

Л. — Вместо того, чтобы передавать последовательно все строки изображения, от первой до последней, передают сначала все нечетные, а затем все четные строки. Общее время развертки остается тем же, равным $^1/_{25}$ *сек*. Но половина строк, покрывающих, однако, с некоторым интервалом всю поверхность изображения, передается в течение $^1/_{50}$ *сек*, а вторая — в течение следующей $^1/_{50}$ *сек*.

Н. — Если бы я таким образом читал книги, я бы там немного понял.

Л. — Вообще-то да. Но вот маленький текст, который нужно прочесть «чересстрочно». Взгляд пробегает, читая его, точно такой же путь, который



должна пройти чересстрочная развертка в телевидении. Этот способ в настоящее время повсюду принят.

Чтобы правильно прочесть этот текст,
же образом, пробегая сначала совокупность («полурастр»)
нужно прочесть сначала нечетные строки,
нечетных строк, затем четных
затем четные строки. Чересстрочная развертка
строк. Таким образом, чтобы развернуть изображение
позволяет читать изображение таким
25 раз в секунду, развертывают 50 полурастров в секунду.

Н. — Это, действительно, довольно забавно. Я думаю, что типограф, который составил этот текст, был немного навеселе... Но как практически осуществить такой способ развертки. Думаю, что это должно быть чрезвычайно сложно.

Л. — Вовсе нет, дружище. Вот, например, диск Нипкова, который для этого вполне подходит (рис. 9). Ты видишь, что у него также 16 отверстий для разложения изображения на 16 строк. Но отверстия расположены не на одной, а на двух спиралях, занимающих каждая половину круга. На одной находятся отверстия, развертывающие строки 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 и 15, тогда как на другой расположены отверстия, соответствующие строкам 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, и 16.



Рис. 9. Двухспиральный диск Нипкова для чересстрочной развертки.

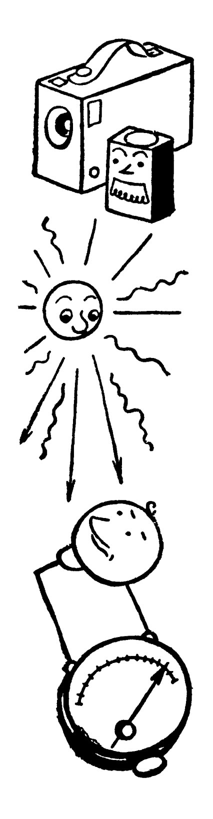
Н. — Поистине, это очень просто. Нужно же было до этого додуматься! Но можешь ты мне объяснить, как при помощи диска Нипкова передавали изображения?

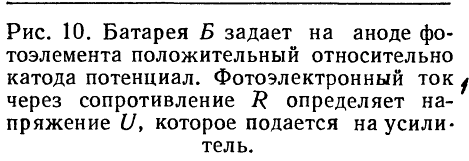
Немного химии

Л. — Знаешь ты, что называется фотоэлементом?

Н. — Конечно. Для моего фотоаппарата мне предложили фотоэкспонометр с фотоэлементом. Это приспособление, дающее возможность измерять интенсивность освещения предметов, которые нужно сфотографировать. Свет падает на фотоэлемент, который превращает свет в электрический ток, измеряемый при помощи очень чувствительного гальванометра.

Л. — Фотоэлемент является, следовательно, преобразователем световой энергии в электрическую. Ток, который через него проходит, пропорционален падающему на него потоку света. Фотоэлементы, используемые в телевидении, фотоэмиссионного типа (рис. 10). Вначале фотоэлемент такого типа





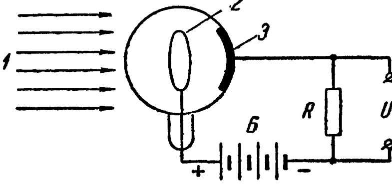


Рис. 10. Батарея *Б* задает на аноде фотоэлемента положительный относительно катода потенциал. Фотоэлектронный ток через сопротивление *R* определяет напряжение *U*, которое подается на усилитель.

1 — световой поток; *2* — анод; *3* — светочувствительный слой (катод).

представлял собой стеклянную колбу, из которой выкачан воздух. Одна из внутренних стенок колбы была покрыта тонким слоем фотоэмиссионного материала.

Н. — Так называют материал, излучающий свет?

Л. — Этимология слова вводит тебя в заблуждение. Речь идет о веществах, которые при попадании на них светового потока излучают электроны.

Н. — А какие же это вещества?

Л. — Все так называемые «щелочные» металлы, т. е. цезий, натрий, калий, рубидий и литий, так же как и реже используемые щелочноземельные.

Н. — У меня есть идея! Раз существуют материалы, излучающие электроны под действием света, можно было бы заменить ими катоды радиоламп. Таким образом, отпала бы необходимость в токе накала. Днем можно было бы выставлять приемник под лучи солнца, а вечером его помещали бы около осветительной лампы.



Л. — Твоя идея не абсурдна. Но количество излучаемых при этом электронов может обеспечить только очень слабый ток. Чтобы получить ток в фотоэлементе, еще кое-чего не хватает. Фотоэмиссионная поверхность составляет катод...

Н. — Понял! Не хватает анода. Очевидно, нужно поместить в колбу анод с положительным по отношению к катоду потенциалом, чтобы притягивать электроны, которые он излучает.

Л. — Да, но сплошной анод задерживал бы световые лучи. Поэтому его заменяют кольцом или редкой сеткой.

Изображение развернуто

Н. — Мне думается, что я могу рассказать теперь, как я представляю себе телевизионный передатчик. Я беру свой фотоаппарат, но на место матового стекла помещаю ту часть диска Нипкова, которой производится разложение изображения (рис. 11). Ведь именно здесь объектив моего аппарата образует изображение, которое нужно передать. А сзади диска я помещу фотоэлемент. Так это?

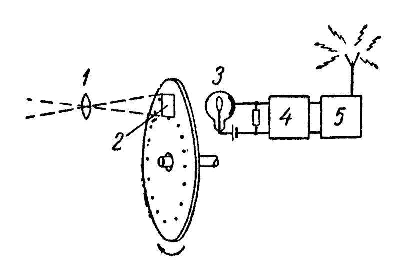
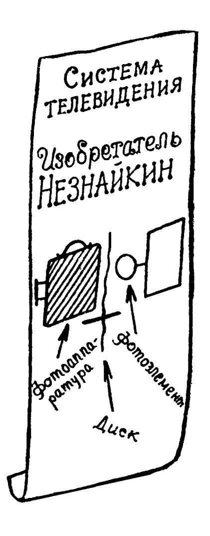


Рис. 11. Передатчик с диском Нипкова.

1 — объектив; 2 — проекция изображения; 3 — фотоэлемент; 4 — усилитель; 5 — передатчик.

Л. — Абсолютно верно! Ты на пути к повторному изобретению телевидения... В каждый момент времени фотоэлемент в твоем устройстве будет получать свет от развертываемого элемента изображения и будет преобразовывать его в ток, пропорциональный интенсивности света. Следовательно, на выходе фотоэлемента возникает сигнал видеочастоты, который нужно будет соответственно усилить, перед тем как промодулировать несущую высокую частоту, используемую для передачи видеосигнала на расстояние.

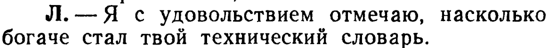


Изображение воспроизведено

Н. — А приемник?

Л. — Как ты понимаешь, в нем будет диск Нипкова, подобный диску передатчика, приводимый в совершенно идентичное вращательное движение (рис. 12).

Н. — Это то, что называют «синхронизмом», не так ли?



Л. — Я с удовольствием отмечаю, насколько богаче стал твой технический словарь.

Н. — Но какое устройство будет служить преобразователем изменений тока в изменения яркости?

Л. — Попросту неоновая лампа, состоящая из колбы, содержащей неон под небольшим давлением...

Н. — Я прекрасно знаю эти неоновые лампы, которые применяют в световых рекламах. Я даже разбил одну в кафе напротив нашего дома, потому что она излучала больше помех, чем света.

Л. — Я и не подозревал, что у тебя такие агрессивные наклонности. Но неоновые лампы, которые использовались в телевидении, содержали один электрод в виде пластинки такой же

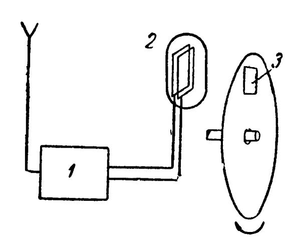
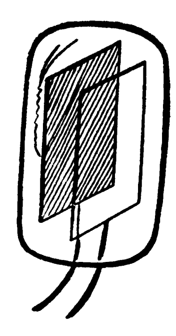


Рис. 12. Приемник с диском Нипкова и неоновой лампой.

1 — приемник; 2 — неоновая лампа; 3 — изображение.





поверхности, как и воспроизводимое изображение, и другой электрод, который в виде рамки охватывал первый электрод. Когда между этими двумя электродами приложено некоторое постоянное напряжение, вся поверхность пластинки светится. Если, кроме того, в цепь попадает переменное напряжение видеосигнала, то яркость изменяется в соответствии с мгновенными значениями сигнала.

Н. — Да, но как сделать, чтобы каждая точка этой пластинки имела яркость, соответствующую яркости той же точки передаваемого изображения?

Л. — А этого и не нужно. Ведь неоновая лампа помещена за диском Нипкова и ты ее видишь через отверстия диска.

Н. — Теперь я понял! В каждое мгновение мы увидим только один элемент светящейся поверхности лампы, и в это мгновение лампа правильно воспроизводит яркость соответствующей точки развертываемого изображения. Например, в момент, когда передают первый элемент первой строки, вся неоновая лампа имеет такую же яркость. Но через отверстие диска мы видим только место изображения, соответствующее этому элементу. Когда отверстие переходит к следующему элементу, неоновая лампа воспроизводит яркость этого второго элемента и т. д. Следовательно, все элементы видны на своих местах с соответствующей яркостью, что дает восстановленное изображение.

Л. — Ты прекрасно понял принцип этой системы телевидения, выдвинутой еще в конце XIX в.



Механика умерла. Да здравствует электроника!

Н. — Эта система мне кажется очень простой и практичной. Надеюсь, что она продолжает существовать.

Л. — Она давным давно заброшена, так как пригодна для разложения изображений с ограниченным количеством строк, не превышающим 180.

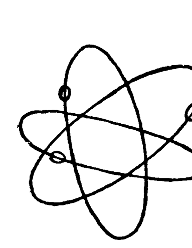
Н. — А разве не могли делать достаточно большие диски, чтобы разместить на них большее количество отверстий?

Л. — Нет, потому что при скорости, с которой они вращаются, центробежные силы могли бы их разорвать.

Н. — Можно было бы уменьшить диаметр отверстий.

Л. — Не ниже некоторой величины. Световые лучи, проходящие через слишком малые отверстия, подвергаются неприятному явлению дифракции.

Н. — Положительно, мои идеи сегодня не очень-то удачны.



Л. — Если бы они и были удачны, ты все равно не мог бы спасти механические системы. Они страдают другими серьезными недостатками. Так, например, в процессе передачи фотоэлемент получает свет от каждого элемента изображения только в течение очень короткого интервала времени. Чтобы получить ощутимый электрический ток, требуется очень интенсивное освещение объекта. При приеме имеет место такое же расточительство, так как каждое мгновение мы видим только один элемент всей освещенной поверхности неоновой лампы, свет которой, следовательно, очень мало используется. И, наконец, разве мы не живем в век электроники?..

Н. — Зачем же ты мне тогда подробно объяснял действие системы, которая должна встретиться в музее с самолетом братьев Райт и когерером Бранли.

Л. — Потому что, шевеля мозгами, чтобы ее понять, ты лучше подготовишься к усвоению более сложных явлений в электронных системах.

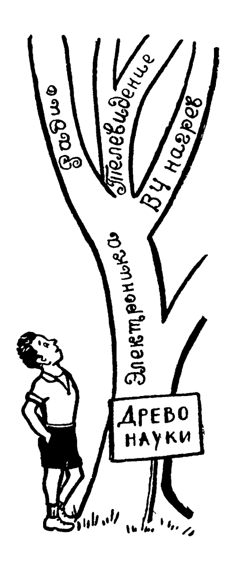
Н. — Я чувствую, что это будет дьявольски сложно...

БЕСЕДА ТРЕТЬЯ

Выявив недостатки механических систем телевидения, приятели переходят к изучению электронных методов. Для этого они начинают изучать основное устройство всякого телевизионного прибора — электронно-лучевую трубку, применяемую как в передающих телевизионных камерах, так и в телевизионных приемниках. Это показывает, насколько она заслуживает подробного изучения. Предметом изучения наших приятелей будут, следовательно, следующие вопросы: электроника; устройство электронной пушки; атмосферное давление на электронно-лучевую трубку; возможность ее разрыва; люминесцентный экран; электронная оптика; электростатическая фокусировка; электростатическая линза; электронное пятно; скорость электронов; их возврат в источник; алюминированные экраны; электростатическое отклонение; горизонтально и вертикально отклоняющие пластины; формирование изображения.

ЭЛЕКТРОНЫ В ВАКУУМЕ

Определение электроники



Незнайкин. — Все же кое-что мне решительно не удается понять. Во время последней беседы ты заявил, что «механические способы» в наше время уступили место «электронным». Так вот по-моему диск Нипкова по существу электронный.

Любознайкин. — Как это?

Н. — Разве его атомы не состоят из протонов, электронов и нейтронов? Что тебе еще больше нужно электронного?

Л. — Просто-напросто электроны в свободном состоянии, отделенные от протонов. А где ты их найдешь в таком виде?

Н. — Ничего я об этом не знаю... Впрочем, знаю: в пустоте радиоламп, когда они выполняют «сальто», чтобы перелететь от катода к аноду.

Л. — Правильно. И вся важная отрасль современной техники, которую определяют термином «электроника», рассматривает применение электронных токов, протекающих в пустоте или полупроводниках, некоторые усилительные свойства которых недавно научились использовать.

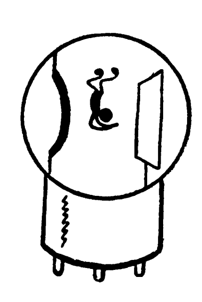
У источника электронов

Н. — Но вернемся к телевидению. Как создают электронные токи, которые в нем используются?

Л. — Совершенно таким же образом, как и в усилительных радиолампах: путем электронной эмиссии горячего катода.

Н. — А что делают с этими электронами?

Л. — Их собирают в узкий пучок, который наподобие невидимого карандаша пробегает строка за строкой все элементы передаваемого изображения. Таким образом осуществляется развертка изображения как при передаче, так и при приеме изображения.



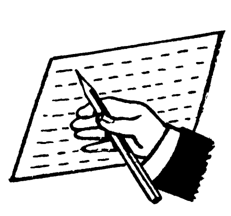
Н. — Я прекрасно вижу, как поток электронов идет от катода к аноду в триоде. Но как может он сконцентрироваться и особенно переместиться, чтобы последовательно развернуть элементы изображения?

Л. — Именно это-то мы сегодня и рассмотрим. Основное устройство, в котором происходят все эти явления, — электронно-лучевая трубка. Она состоит прежде всего из триода, весьма похожего на триоды, используемые в радиолампах. Однако, чтобы облегчить концентрацию электронов, используют катод с очень малой поверхностью (его называют «точечный катод»).

Н. — Очевидно, чтобы собрать электроны в узкий пучок, лучше с самого начала держать их вместе. Но почему же в таком случае они стремятся иметь расходящиеся траектории?

Л. — Разве ты забыл, дружище, что одноименные заряды (отрицательные электроны) взаимно отталкиваются?

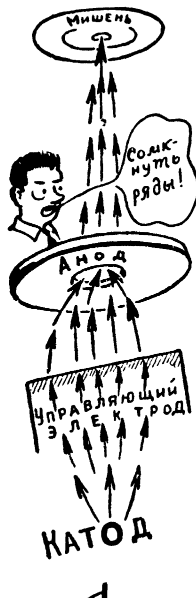
Странный триод

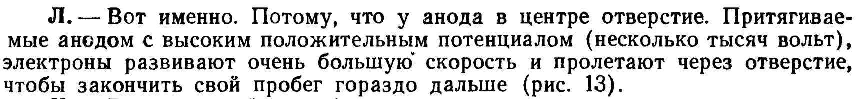


Н. — Но где собираются электроны?

Л. — Обычно после их прохода через анод.

Н. — Ничего не понимаю. В твоем любопытном триоде электронам удается, значит, пройти через анод?




Л. — Вот именно. Потому, что у анода в центре отверстие. Притягиваемые анодом с высоким положительным потенциалом (несколько тысяч вольт), электроны развивают очень большую скорость и пролетают через отверстие, чтобы закончить свой пробег гораздо дальше (рис. 13).

Н. — Вот странный триод!

Л. — И даже более странный, чем ты думаешь. Не только анод в нем образован диском с отверстием, но и то, что эквивалентно сетке и называется

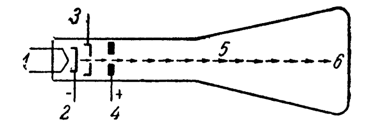


Рис. 13. Простейшая электронно-лучевая трубка.

1 — нить накала; *2* — катод; *3* — управляющий электрод (цилиндр Венельта); *4* — анод; *5* — электронный луч; *6* — люминесцирующий экран.

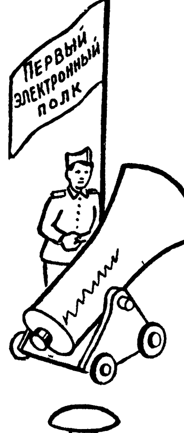
управляющим электродом, на самом деле состоит из цилиндра, окружающего катод. Его называют иногда «цилиндр Венельта».

Н. — А как он действует?

Л. — Так же, как и сетка. Если его потенциал имеет большое отрицательное значение, он отталкивает вылетевшие электроны обратно к катоду, а к аноду пропускает лишь очень небольшое количество их. Наоборот, когда цилиндр Венельта лишь немного отрицателен, большей части электронов удается пройти сквозь него, чтобы устремиться к аноду... и за него.

Н. — А какова величина тока?

Л. — Ток гораздо слабее, чем в радиолампах. Вообще-то он порядка сотен микроампер, тогда как в приемных триодах он достигает нескольких миллиампер. Впрочем, триод трубки был бы очень плохим усилителем, так как его крутизна не превышает десятка микроампер на вольт, тогда как внутреннее сопротивление близко к сотням мегом!..



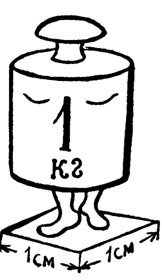
Легкая артиллерия

Н. — Для чего же тогда служит этот необычный триод?

Л. — Он служит электронной пушкой. Для телевизионных систем нужно было создать устройство, излучающее электроны в достаточном количестве и к тому же поддающееся управлению благодаря тому вентилю, которым является цилиндр Венельта. В электронно-лучевых трубках электронная пушка помещена в цилиндрической части стеклянной колбы, расширяющейся далее в виде конуса; его основание служит экраном, на котором воспроизводится изображение.

Н. — Должен ли быть удален воздух из этой колбы?

Л. — Конечно, иначе электроны будут ударяться о тяжелые молекулы газа и потеряют свой разбег. Внутри трубки должна царить совершенная пустота настолько, насколько это возможно.



Н. — Как и природа, я боюсь пустоты, а пустота в трубке ничего хорошего не сулит. Ты отдаешь себе отчет в том, что в этих условиях каждый квадратный сантиметр поверхности трубки должен выдерживать полное атмосферное давление, т. е. один килограмм?

Л. — Я это знаю. И если ты не забыл свои уроки геометрии, ты легко подсчитаешь давление, которое действует на экран трубки диаметром 43 *см*.

Н. — Около тысячи двухсот килограммов!

Л. — Если ты учтешь еще конические и цилиндрические стенки, ты увидишь, что общее давление — около трех тонн, или вес 40 взрослых людей.

Н. — Трубка, выдерживающая всех бессмертных Французской Академии![1] Решительно, она должна быть необыкновенно прочной...



Л. — Именно поэтому ее экран обычно делают слегка выпуклым, хотя теперь научились изготовлять и плоские. А конические стенки часто делают из стали.

Н. — Недостает только, чтобы во избежание взрыва трубки я занимался телевидением лишь высоко в горах.

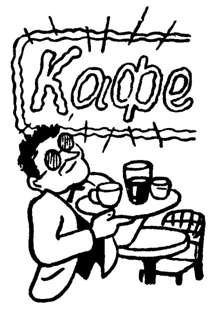
Л. — Почему это?

Н. — Потому, что на высоте атмосферное давление меньше...

Л. — Согласен. Но спустимся обратно на землю, чтобы исправить ошибку терминологии: трубка не взрывается, она «раздавливается»... И это дорого обходится.

[1] «Сорок бессмертных» — так обычно называют 40 членов Французской Академии, основанной кардиналом Ришелье. *Прим. перев.*

Люминесценция, фосфоресценция и флуоресценция



Н. — Что же происходит с электронами, выброшенными электронной пушкой, когда они достигают экрана?

Л. — Его внутренняя стенка покрыта слоем полупрозрачного вещества, которое светится под ударами электронов.

Н. — Это вещество вроде того, что светится в темноте на стрелках моих часов?

Л. — Не совсем, потому что на твоих стрелках фосфоресцирующее вещество очень долго светится после того, как оно было предварительно облучено. А в электронно-лучевых трубках длительность послесвечения экрана сравнительно невелика.

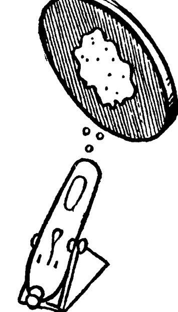
Н. — То ли это явление, которое происходит во флуоресцирующих лампах, все шире используемых в кафе и магазинах?

Л. — Ну да. В этих лампах электрический разряд в ртутных парах дает ультрафиолетовые лучи, не ощущаемые нашим глазом. Однако, падая на флуоресцирующее вещество, которым покрыты внутренние стенки экрана, ультрафиолетовые лучи вызывают видимое световое излучение.

Н. — Твоя флуоресцирующая лампа, мне кажется, совершенно подобна супергетеродину.

Л. — ??

Н. — Разве это не преобразователь частоты, преобразующий очень высокую частоту ультрафиолетовых лучей в менее высокую частоту видимого света?..

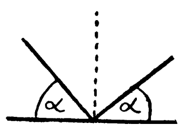




Л. — Ты совершенно прав. Но ближе к делу. У нас есть электронная пушка, посылающая свои снаряды на экран, который начинает светиться. Так как при стрельбе происходит рассеивание, на экране образуется широкое световое пятно. Пробовать получить изображение при помощи этого пятна было бы так же бесполезно, как пытаться нарисовать картину при помощи платяной щетки.

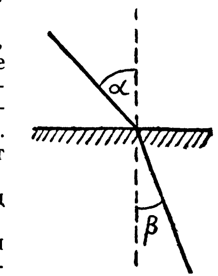
Электронная линза

Н. — Вот мы и вернулись опять к проблеме фокусировки. Как ты думаешь пробудить в электронах дух солидарности?



Л. — Я могу это сделать при помощи «электронной линзы». В этом термине нет ничего неправильного, потому что электронные лучи на пути от катода до экрана ведут себя более или менее подобно световым. Они подчиняются законам «электронной оптики», которая имеет много общего с разделом физики, рассматривающим поведение световых лучей.

Н. — Уж не хочешь ли ты мне сказать, что электронной линзой служит диск из двояковыпуклого стекла? Ведь электроны не могли бы пройти через него.



Л. — Подобную линзу получают, помещая за первым анодом второй, имеющий более высокий потенциал (а иногда даже и третий). Электрическое поле между анодами действует на элементарные электрические заряды, какими являются электроны, изменяя их траекторию и стремясь направить их к оси трубки. И вот таким-то образом электроны образуют сходящийся пучок (рис. 14).

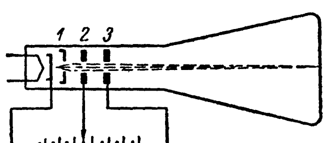


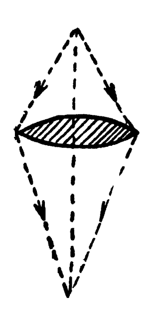
Рис. 14. Электростатическая фокусировка электронного пучка.

1 — управляющий электрод; *2* — первый анод; *3* — второй анод.

Н. — А наш триод превращается в тетрод или даже пентод!

Л. — У него будут в некоторой степени свойства тетрода. В частности, изменения напряжения на последнем аноде почти не будут оказывать влияния на количество электронов, образующих электронный луч, т. е. на интенсивность тока в вакууме.

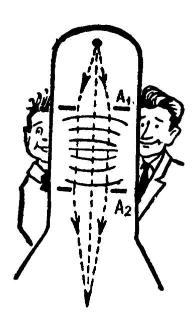
Н. — Какие же напряжения прикладываются к электродам?



Л. — На первом аноде относительно небольшое напряжение, порядка 220 *в*. Зато второй анод находится под высоким напряжением в несколько тысяч вольт. При этом напряжение на первом аноде можно изменять, влияя таким образом на распределение электрических полей и тем самым изменяя «кривизну» электронной линзы.

Н. — Значит, электронная линза совершеннее обычной оптической линзы?

Л. — Нет, не всякой. Вот, например, глазной хрусталик тоже обладает способностью изменять свою кривизну, чтобы приспосабливаться к рассматриванию близких и удаленных предметов.



Н. — Значит, регулируя напряжение на первом аноде, изменяют фокусировку пучка?

Л. — Совершенно верно. Стараются получить очень узкий пучок, дающий на экране светящееся пятно очень небольших размеров, которое и является элементом растра, определяющим размер элемента изображения.

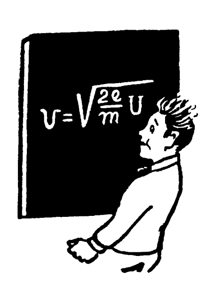
Печальная участь электронов

Н. — Но что делается с электронами, достигшими экрана? Нужно, чтобы они вернулись к источнику высокого напряжения, каков бы он ни был.

Л. — Вот вопрос, который раньше мало интересовал изготовителей трубок. Электроны, падающие на экран с большой скоростью...

Н. — Какого порядка?

Л. — Эта скорость зависит от напряжения, приложенного к последнему аноду, и пропорциональна квадратному корню из этого напряжения. Так, при 10 000 *в* на этом аноде электроны будут иметь скорость около 11 *км/сек*. Но при 20 000 *в* она едва превзойдет 15 *км/сек*.



Н. — Какой же смысл увеличивать эту скорость?

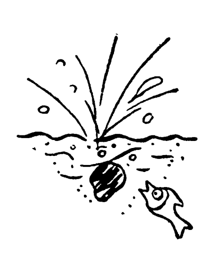
Л. — Чем сильнее электроны ударяются об экран, тем ярче он светится.

Н. — Вернемся, с твоего разрешения, к электронам, которые ударяются об экран. Что с ними происходит?

Л. — Как камень, с силой брошенный в воду, поднимает фонтан брызг, электроны выбивают другие электроны из люминесцентного слоя. Эти электроны...

Н. — ...вторичные...

Л. — Ну да, я вижу, ты ничего не забыл из наших прежних бесед. Эти вторичные электроны медленно и как умеют передвигаются к аноду. По крайней мере, так было в старых трубках. В наше время им облегчают обратный путь, покрывая внутренние стенки колбы между экраном и выводом последнего анода проводящим графитовым слоем. Я должен тебе, кстати, заметить, что вывод последнего анода производится через стекло в конической части колбы (рис. 15).



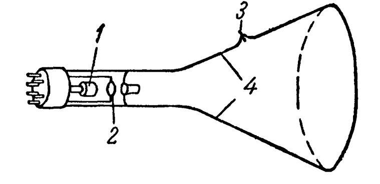
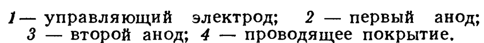


Рис. 15. Электронно-лучевая трубка с фокусировкой посредством электронной линзы. Высокое напряжение на последнем аноде требует хорошей изоляции; поэтому его вывод осуществляется вне цоколя трубки.



1 — управляющий электрод; *2* — первый анод; *3* — второй анод; *4* — проводящее покрытие.

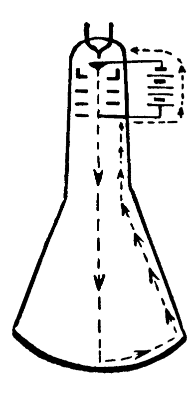


Н. — А почему не через штырек цоколя?

Л. — Да потому, что из-за высокого напряжения на этом электроде его следует по возможности отдалить от других электродов.

Н. — Теперь я ясно представляю себе всю цепь. Электроны вылетают из катода, пролетают отверстия управляющего электрода и одного или нескольких анодов и попадают на какую-то точку экрана. Оттуда они движутся вдоль стенок по направлению к последнему аноду и через источник высокого напряжения возвращаются на катод. Я полагаю, что самая трудная часть пути — это та, которая ведет от пятна к краю экрана.

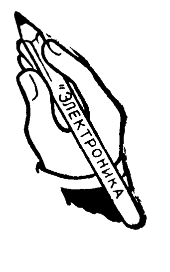
Л. — Верно, потому что люминесцентный слой очень далек от идеального проводника. Но в современных трубках на этот слой часто наносится очень тонкий зеркальный слой алюминия, сквозь который легко проходят электроны, вылетающие из электронной пушки, и который облегчает удаление вторичных электронов. Впрочем, истинная цель алюминиевого слоя — увеличить яркость изображения, отражая по направлению к зрителю ту часть световых лучей, которая без этого безвозвратно терялась бы для него, уходя внутрь трубки.



Пятно ходит вверх и вниз

Н. — Вот мы и владеем электронным карандашом, предназначенным для вычерчивания светящихся изображений на экране. Однако, чтобы рисовать, нужно сделать его подвижным. Как схватить этот невидимый пучок и манипулировать им по своему желанию?

Л. — Когда настоящая пушка выпускает снаряд, он следует по прямолинейной траектории?



Н. — Нет, конечно. Он описывает параболу, так как земное притяжение искривляет его траекторию по направлению к Земле.

Л. — Не видишь ли ты возможности воздействовать на электрон аналогичной силой, способной отклонить его от прямого пути?

Н. — Да, вижу. Можно было бы расположить под пучком положительно заряженный электрод, который притягивал бы электроны так же, как Земля притягивает снаряд. Таким образом, пучок искривился бы книзу.

Л. — Правильно! Можно поступить еще лучше, поместив одновременно над пучком второй, отрицательно заряженный электрод (рис. 16).

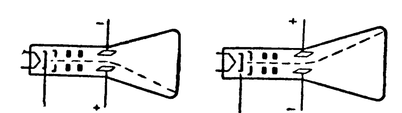
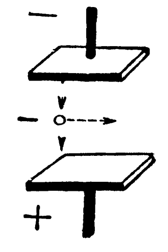
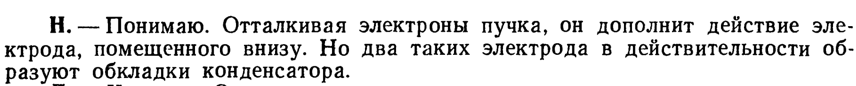


Рис. 16. Электростатическое отклонение. В соответствии со знаком напряжения на отклоняющих пластинах пятно отклоняется вниз или вверх.

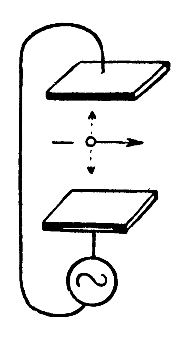




Н. — Понимаю. Отталкивая электроны пучка, он дополнит действие электрода, помещенного внизу. Но два таких электрода в действительности образуют обкладки конденсатора.

Л. — Конечно. Заметь, впрочем, что на отклоняющие пластины нужно подавать не постоянное напряжение, так как, отклонившись от центра экрана, пятно займет неподвижное положение. Однако не это нам нужно. Что произойдет, если к двум отклоняющим электродам приложить переменное напряжение?

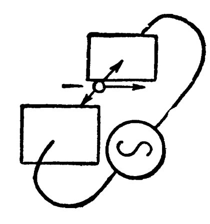
Н. — Во время полупериода, когда верхний электрод становится положительным, а нижний — отрицательным, пучок будет притягиваться вверх (отталкиваясь при этом снизу). Мы увидим, как пятно поднимается. Во время следующего полупериода верхний электрод, становясь отрицательным, его оттолкнет, в то время как он будет притягиваться к нижнему электроду, который станет положительным. Наше пятно, следовательно, переместится вниз.



Л. — Ты видишь, что пятно будет передвигаться туда и обратно вдоль вертикального диаметра экрана. И если частота переменного напряжения, приложенного к отклоняющим пластинам, превышает тридцать герц...

Н. — ...глаз воспримет светящуюся вертикальную черту, так как, принимая во внимание инерцию светового ощущения, он не будет различать мгновенных положений, занимаемых пятном.

Пятно колеблется вправо и влево



Л. — Предположи теперь, Незнайкин, что на пути пучка мы помещаем вторую пару отклоняющих пластин, на этот раз расположенных вертикально по обе стороны пучка (рис. 17).

Н. — Ясно, что они создадут возможность отклонять пучок вправо и влево. И если приложить к этим пластинам переменное напряжение, то пятно прочертит на экране горизонтальную линию.

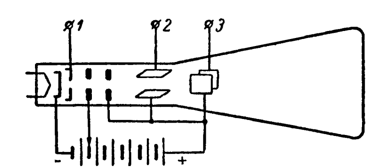
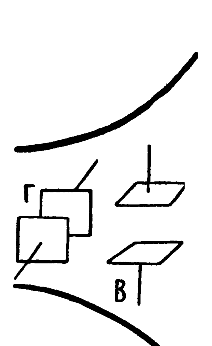


Рис. 17. Электронно-лучевая трубка с электростатическим отклонением.

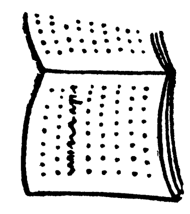
1 — входной видеосигнал; *2* — пластины вертикального отклонения (кадры); *3* — пластины горизонтального отклонения (строки).



Л. — Справедливость и логичность твоих выводов заслуживают комплиментов.

Н. — Но кое-что, однако, мне не нравится: это то, что вертикальные пластины создают горизонтальное отклонение, и наоборот.

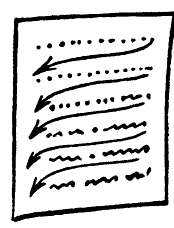
Л. — Это, действительно, очень досадно. И некоторые авторы создают плачевную путаницу, когда говорят о «горизонтальных отклоняющих пластинах», тогда как хотят сказать о «горизонтально отклоняющих пластинах» или «пластинах горизонтального отклонения», которые сами по себе расположены вертикально!



Изображение вырисовывается

Н. — Мы умеем теперь отклонять пятно как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Как его заставить теперь вычерчивать изображение?

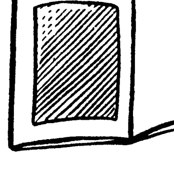
Л. — Не будем торопиться и ограничимся сначала ориентировочным представлением. Предположи, что к горизонтально отклоняющим пластинам приложено периодическое напряжение такой формы, что пятно пробегает с постоянной скоростью горизонтальную линию слева направо, потом почти мгновенно возвращается налево, возобновляет такое же движение вправо и т. д.



Н. — Это вроде того, как если бы я читал без конца одну и ту же строчку книги.

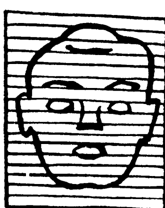
Л. — Остается, следовательно, сообщить пятну гораздо более медленное движение сверху вниз, прикладывая соответствующее напряжение к вертикально отклоняющим пластинам.

Н. — Таким образом, когда одна строка будет прочитана, мы не будем больше возвращаться к началу этой же строки, а будем переходить к началу следующей.



Л. — Конечно. И так будет для всех строк изображения, потому что пятно будет медленно с постоянной скоростью перемещаться сверху вниз. Но когда оно пробежит последнюю строку, резкий переброс вертикально отклоняющего напряжения возвратит пятно кверху, чтобы начать развертку следующего изображения.

Н. — Мы закончили страницу и перевернули ее, чтобы начать новую... Все это ясно. Но наше пятно вычертит только ряд однообразно светящихся строк, которые создадут впечатление прямоугольника с равномерной яркостью во всех точках. Это как книга, у которой все буквы одинаковы!..



Л. — Да, но ведь мы забыли нечто очень существенное: изменять интенсивность электронного пучка так, чтобы каждая точка изображения была воспроизведена со свойственной ей яркостью.

Н. — Я что-то не пойму, как ты этого добьешься.

Л. — Послушай-ка, Незнайкин, уж не устал ли ты? Подумай же. Какой электрический сигнал в приемнике точно отражает все изменения яркости последовательно развертываемых точек изображения?

Н. — Сигнал видеочастоты.

Л. — А на какой электрод трубки нужно подать этот сигнал, чтобы промодулировать интенсивность электронного пучка?



Н. — Ах, да! На сетку. Я хочу сказать на управляющий электрод. Понятно... Пятно будет более или менее ярким в соответствии с величиной, которую будет иметь в этот момент видеосигнал. И вот таким-то образом переданное изображение будет элемент за элементом воспроизведено на экране трубки.

Л. — Само собой разумеется, нужно, чтобы движения электронных пучков при передаче и приеме были строго синхронизированы.

Н. — Я чувствую, что у меня возникают сотни вопросов.

Л. — С моей стороны есть только один: не думаешь ли ты, что на сегодня хватит?



БЕСЕДА ЧЕТВЕРТАЯ

В последней беседе наши юные друзья рассмотрели электростатическую электронно-лучевую трубку, управляемую электрическими полями. Однако в телевидении наиболее употребительны трубки с управлением электромагнитными полями. Они явятся предметом обсуждения настоящей беседы. Читатель должен очень внимательно следить за объяснениями, относящимися к действию магнитного поля на электроны, потому что объяснения связаны с пространством в трех измерениях, тогда как иллюстрации, увы, ограничены двумя измерениями плоскости бумаги. Таким образом, он изучит: магнитное поле электрона; конфигурацию электрических и магнитных полей; взаимодействие магнитных полей; отклоняющие катушки; магнитную фокусировку; сравнение трубок с электростатическим и электромагнитным управлением; чувствительность отклонения; максимальный угол отклонения.

ПРОГУЛКА ПО ПОЛЯМ

100 вопросов Незнайкина

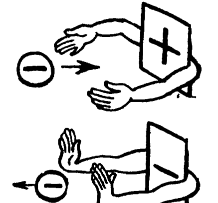


Незнайкин. — Из-за этого проклятого телевидения у меня бессонница! Сотни вопросов теснятся в голове, так что она чуть не треснет. Я поторопился опять с тобой встретиться, чтобы спросить, какова форма напряжений, прикладываемых к вертикально и горизонтально отклоняющим электродам? Как они образуются? Какова их амплитуда? Каким образом они синхронизируются? Почему...

Любознайкин. — Ради бога, остановись! Я постараюсь удовлетворить твою жажду знаний, но нужно идти по порядку. В последний раз мы рассмотрели трубку с электростатической фокусировкой и отклонением. В настоящее время она в основном применяется в измерительных приборах, известных под названием электронных осциллоскопов (осциллографов). В телевидении же она если и применяется, то только для получения небольших изображений. А как только диаметр экрана достигает или превышает двадцать сантиметров, отдают предпочтение трубкам, в которых электроны управляются магнитными полями.

Н. — Я задаю себе вопрос: каким образом? Электрон имеет некоторый отрицательный электрический заряд, и, исходя из этого, тела, заряженные положительно (такие, как анод), притягивают его, а заряженные отрицательно — отталкивают. Но какое действие может оказать магнитное поле на электрон?

От одного поля к другому

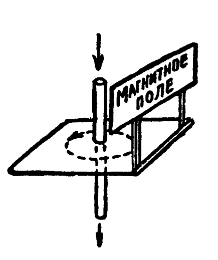


Л. — Если бы можно было сделать электрон неподвижным, он был бы похож на то, что ты себе представляешь: носитель электрического отрицательного заряда и больше ничего. Но как только электрон оказывается в движении, он порождает магнитное поле.

Н. — Ты никогда об этом не говорил. В свое время ты объяснил, что электрический ток создает вокруг проводника магнитное поле, образованное из замкнутых круговых линий, центром которых является проводник.

Л. — Бедняга, бессонницы решительно тебе не помогают. Потому что, в конце концов, что такое электрический ток, как не поток электронов?!

Н. — Правильно, диод меня возьми! Ты, конечно, прав, не проводник, а электроны, в нем циркулирующие, порождают магнитное поле. В общем можно сказать: где есть электричество в движении, там есть и магнетизм.



Л. — Разве не то же происходит в случае радиоволн, которые представляют собой замкнутые пучки магнитных линий, окруженные электрическими полями, и которые распространяются с волшебной скоростью света...

Н. — Следовательно, когда электрон совершает «сальто», ведущее его от катода через отверстия управляющего электрода и анодов по направлению к люминесцирующему экрану, его также сопровождает замкнутое магнитное поле, центром которого он является?

Л. — Безусловно. И обрати внимание, что линии электрического поля идут радиально от электрона во всех направлениях и благодаря этому перпендикулярны линиям своего магнитного поля (рис. 18). Я сообщу тебе очень

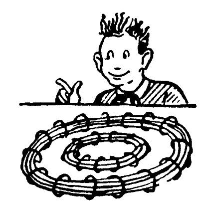
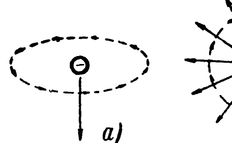
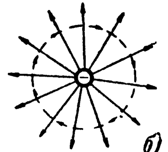


Рис. 18. Поля, создаваемые движущимся электроном.

а — магнитное поле электрона, перемещающегося сверху вниз; *б* — электрическое (сплошными стрелками) и магнитное (пунктиром) поля электрона, перемещающегося в направлении глаза читателя перпендикулярно плоскости рисунка.





полезный секрет: во всех случаях линии электрического и магнитного полей, возникших благодаря одной и той же причине, взаимно пересекаются во всех точках под прямыми углами.

Интимная жизнь магнитных линий



Н. — А как ведут себя в присутствии друг друга два магнитных поля, порождаемых различными причинами?

Л. — Ты это прекрасно знаешь, Незнайкин. Когда ты приближаешь два магнита один к другому...

Н. — ...они притягиваются, когда это противоположные полюсы. Но если сближают оба северных или же оба южных полюса, то магниты отталкиваются (рис. 19). Дело происходит так же, как в электрических зарядах.

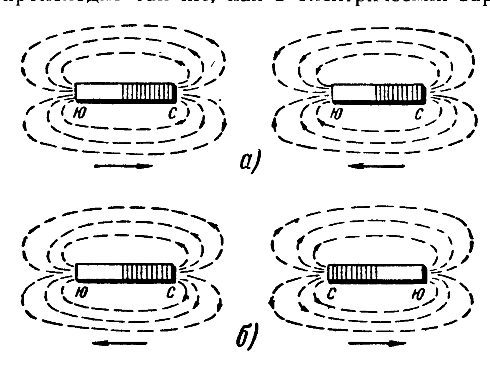
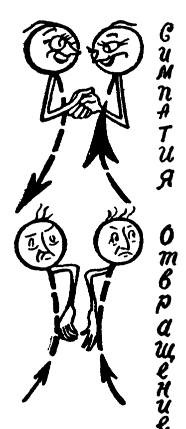
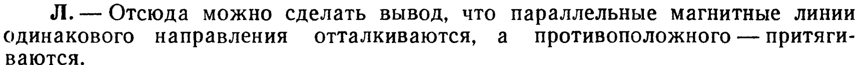


Рис. 19. Взаимодействие двух магнитов.

а — притягивание разноименных полюсов магнитов; *б* — отталкивание одноименных полюсов.





Л. — Отсюда можно сделать вывод, что параллельные магнитные линии одинакового направления отталкиваются, а противоположного — притягиваются.

Н. — И у тебя хватает нахальства говорить о «параллельных» линиях, когда речь идет о кривых!

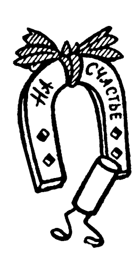
Л. — Не строй из себя ригориста. Тем более, что ты прекрасно понял, что я хотел сказать.

Н. — Да, да я отлично понял. Твои магнитные линии, как два человеческих существа: чем меньше они видятся, тем лучше. Но как только они пытаются вместе пройти по дороге, так начинают ссориться...

Магнитный театр

Л. — Раз это для тебя так ясно, тебе будет легко понять способ магнитного отклонения электронного пучка.

Н. — Постой, дай-ка поразмыслить. Я думаю, что достаточно взять магнит в виде подковы и поместить между его полюсами электронно-лучевую трубку, чтобы электроны попали в его магнитное поле.

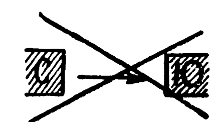


Л. — Поздравляю. А в каком направлении электроны будут отклоняться под действием магнитного поля?

Н. — Ну, конечно, они будут притягиваться одним из его полюсов и отталкиваться другим.

Л. — Какое невежество!!! Как ты мог сказать такую несусветную чепуху?.. Вот опасность непродуманных аналогий! Однако ты должен был бы задуматься после того, как я объяснил, что электрическое и магнитное поля во всех точках перпендикулярны друг другу.

Н. — Не станешь же ты утверждать, что электрон будет отклоняться в направлении, перпендикулярном магнитным линиям?



Л. — Я ничего не утверждаю. Я просто хочу, чтобы ты потрудился логически рассуждать. Чтобы представить все нагляднее, я рисую трубку не совсем обычным образом: я делаю разрез ее колбы на уровне магнита (рис. 20). Глаз помещен со стороны люминесцирующего экрана, так что взгляд направлен вдоль оси трубки на катод. Впрочем, для большей ясности я не рисую электродов. Маленькая черная точка в центре трубки — это электрон, который, направляясь из глубины, устремляется к нам.

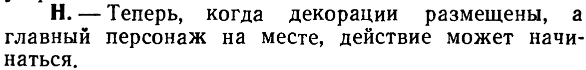
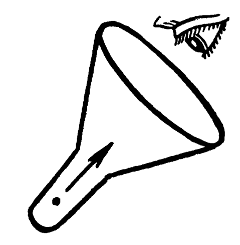


Рис. 20. Принцип магнитного отклонения.

1 — электронно-лучевая трубка; *2* — магнит.



Н. — Теперь, когда декорации размещены, а главный персонаж на месте, действие может начинаться.

Л. — Мы присутствуем, таким образом, при конфликте двух сил, представленных, с одной стороны, полем магнита (параллельные силовые линии), а с другой — полем движущегося электрона. Оно состоит из замкнутых круговых линий. Каково же будет взаимодействие этих полей?

Н. — Справа и слева окружность пересекают под более или менее прямым углом параллельные линии поля, созданного магнитом. Следовательно, там взаимодействие отсутствует. Но внизу и наверху будет явное проявление симпатий и антипатий. Вверху направление линий обоих полей противоположно; следовательно, они будут притягиваться. Внизу, наоборот, линии идут в том же направлении. Значит, они будут отталкиваться.

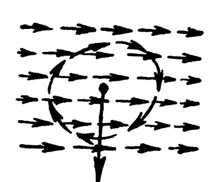


Л. — И какой же результат этих сентиментальных конфликтов?

Н. — Притягиваемый сверху и отталкиваемый снизу электрон, следовательно, будет отклоняться кверху.

Л. — Совершенно верно. А если бы мы поменяли местами полюсы магнита...

Н. — Электрон тогда отклонился бы книзу... Конечно, я признаю, это несколько озадачивает, что горизонтальное поле вызывает вертикальное отклонение электронного потока.

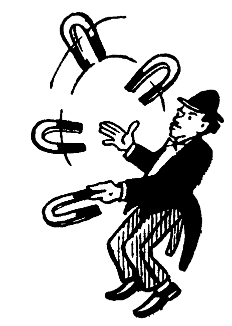


Создание магнитных полей

Л. — Ты легко догадаешься, Незнайкин, что для получения непрерывного движения пятна нужно соответственно изменять как значение, так и направление магнитного поля. И мы этого добьемся без того, чтобы жонглировать постоянными магнитами, хотя бы и в виде подковы, приносящей счастье.

Н. — Я полагаю, что применяют электромагниты, т. е. катушки, через которые проходит ток соответствующей формы и направления, чтобы создать желаемое магнитное поле.

Л. — Это именно так. И, так же как при электростатическом отклонении используют две пары пластин, чтобы получить необходимое перемещение электронного пучка под действием магнитых полей, предусматривают...



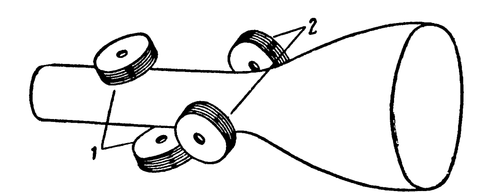


Рис. 21. Расположение горизонтально и вертикально отклоняющих электромагнитов.

1 — горизонтальное отклонение; *2* — вертикальное отклонение.

Н. — ...две пары электромагнитов: первую пару, ось которой расположена вертикально и которая благодаря этому будет отклонять электроны в горизонтальном направлении (развертка строк), и вторую пару с осью, расположенной горизонтально, чтобы отклонять электроны в вертикальном направлении (переход от одной строки к другой и от одного кадра к следующему).



Л. — Именно так, Незнайкин. Четыре катушки помещены обычно в той части колбы, где цилиндр соединяется с конусом (рис. 21).

Н. — Они с магнитным сердечником?

Л. — Используются катушки как без сердечника, так и с сердечником из мягкой листовой стали. В первом случае они наматываются на оправку прямо-



угольной формы, а затем изгибаются, чтобы как можно плотнее прилегать к стеклу колбы (рис. 22).

Н. — А зачем это нужно?

Л. — Для лучшей концентрации магнитного потока на пути электронов. При катушках же с магнитным сердечником это удается благодаря тому, что

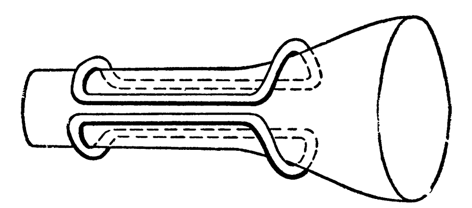


Рис. 22. Горизонтально отклоняющие катушки без сердечника.

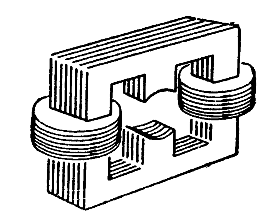


Рис. 23. Отклоняющие катушки с магнитным сердечником.

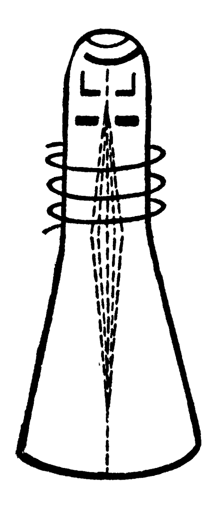


пластинам сердечника придают такую форму, чтобы полюсы как можно ближе прилегали к стеклу колбы (рис. 23).

У Незнайкина возникает идея

Н. — Может быть, это глупо, но я задаю себе вопрос: раз уже движущиеся электроны имеют магнитное поле, не смогли бы ли мы фокусировать их не при помощи того, что ты называешь «электронной линзой», а также магнитным полем?

Л. — Нет, это не глупо. Это как раз то, что часто делали, особенно в трубках старых типов. Так же как магнитное отклонение позволяет упрощать внутреннее устройство трубки, избавляя нас от двух пар отклоняющих пластин, при магнитной фокусировке достаточно одного анода и система электродов вновь обретает первоначальную простоту триода.



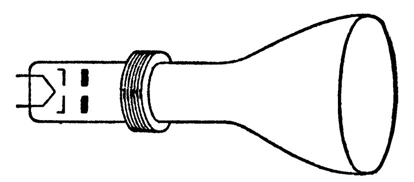


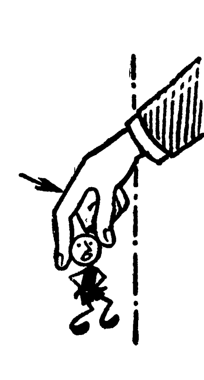
Рис. 24. Катушка для магнитной фокусировки.

Н. — Стоит только пойти по этому пути устранения электродов, ставших излишними, и пустотная трубка вполне оправдает свое название... Но вернемся к моей идее. Как можно осуществить магнитную линзу?

Л. — Нужно создать поле, линии которого шли бы по оси трубки. Для этой цели нужно расположить катушку электромагнита вокруг горла трубки (рис. 24).

Н. — И я полагаю, что фокусировку регулируют, изменяя величину тока в обмотке.

Л. — Именно так. Впрочем, так как поле должно быть постоянным, можно заменить электромагнит постоянным магнитом в форме цилиндра, окружающего горловину трубки в том месте, где электроны выходят из анода, и полюсы которого направлены вдоль оси трубки.



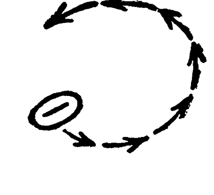


Пляска электронов

Н. — Я инстинктивно понимаю, что в однородном магнитном поле, направленном вдоль оси трубки, электроны вынуждены концентрироваться в пучок на самой оси. Потому что каждый электрон, который отклоняется от этой оси, должен быть, я думаю, сейчас же возвращен на прямой путь электронной добродетели.

Л. — Твой инстинкт тебя не обманывает. Однако в действительности происходящие явления гораздо сложнее. Представь себе, что электрон, находящийся в однородном магнитном поле, отклоняется от оси, направляясь книзу (рис. 25). Лучше всего, если ты вырежешь из бумаги маленький диск, центром

которого будет электрон, а край будет изображать соответствующее ему магнитное поле. Если электрон будет двигаться наклонно книзу, то и диск наклонится. Его верхний и нижний края всегда перпендикулярны линиям поля, но его правый и левый края не образуют больше прямого угла с этими линиями. Следовательно, с одной стороны возникнет притяжение, а с другой — отталкивание. В результате...



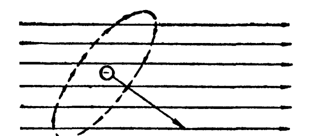
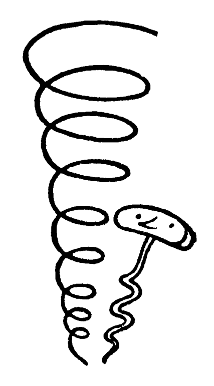


Рис. 25. Движение электрона в магнитном фокусирующем поле.

Н. — ...электрон будет перемещен вбок. Это великолепно! В магнитном поле все происходит совершенно неожиданным образом. Ну, а если электрон уходит теперь влево...

Л. — ...те же рассуждения покажут, что он будет перемещаться вверх.

Н. — И, следовательно, поле будет перемещать его вправо, и т. д. Таким образом, он опишет в конце концов окружность вокруг оси. Какое странное движение! И оно никогда не кончается?



Л. — Конечно! Так как радиус окружности непрерывно уменьшается вплоть до момента, когда электрон попадет на ось и послушно будет двигаться вдоль нее. Это значит, что траектория, приводящая электрон на ось, имеет форму спирали или штопора.

Н. — Магнитная фокусировка напоминает мне пляску скальпов.

Л. — Почему же?

Н. — Потому что индейцы, прежде чем привязать свои жертвы к столбу, описывают вокруг них все уменьшающиеся круги вплоть до момента, когда...

Л. — ...вмешательство провидения спасает в решающий момент скальп бесстрашного исследователя. Я ведь тоже читал Фенимора Купера и Майн Рида...

Вопросы чувствительности

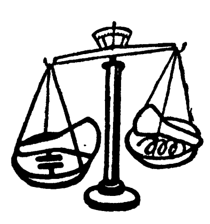


Н. — Теперь, когда ты мне показал анатомию и физиологию электроннолучевых трубок, я попытаюсь взвесить сравнительные достоинства электростатических и электромагнитных систем. Я понимаю, что трубки с электромагнитными отклонением и фокусировкой проще в изготовлении. Но зато, мне кажется, лучше иметь дело с напряжением, создающим электрическое поле, чем заставлять ток проходить через обмотки электромагнита, что требует некоторой мощности и, следовательно, расхода энергии.

Л. — На первый взгляд ты прав. На самом же деле твои доводы справедливы только в случае трубок небольшого диаметра, самое большее до 20 *см*. Потому что ты не учитываешь фактора чувствительности.

Н. — Я не понимаю, причем здесь чувства...

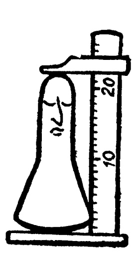
Л. — Нет, речь идет здесь о чувствительности отклонения, величины, которая для данной трубки показывает, на сколько миллиметров переместится пятно по экрану, когда напряжение на отклоняющих пластинах изменится на 1 *в* или когда отклоняющее магнитное поле изменится на 1 *гс* (гаусс — единица магнитной индукции).



Н. — Таким образом, если я правильно понял, чем чувствительнее трубка, тем меньше необходимое напряжение (или мощность в случае магнитных полей) для получения данного перемещения пятна. А от чего же все-таки зависит чувствительность трубки с электростатическим отклонением?

Л. — В такой трубке пятно отклоняется тем больше, чем дольше электроны подвергаются действию отклоняющего поля. Следовательно, чем длиннее отклоняющие пластины, тем выше чувствительность. Точно так же, чем ближе расположены пластины одна к другой, тем больше чувствительность, так как поле интенсивнее.

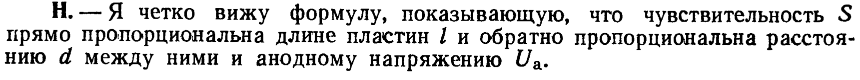
Н. — Значит, можно делать трубки с очень высокой чувствительностью, используя очень длинные пластины и сокращая до минимума расстояние между ними?

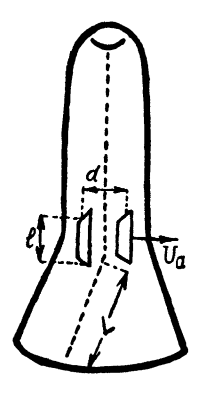


Л. — Ты скоро упрешься в тупик на этом пути, ибо при малейшем отклонении электронный пучок попадет на пластины. Для полноты картины следует добавить, что отклонение уменьшается по мере увеличения скорости электронов.

Н. — Это понятно. Чем быстрее летит снаряд, тем меньше отклоняется он от своей траектории из-за земного притяжения.

Л. — И вот, так как скорость электронов зависит от напряжения на последнем аноде, при увеличении напряжения на нем отклонение уменьшается в таком же соотношении. Это очень важно.





Н. — Я четко вижу формулу, показывающую, что чувствительность S прямо пропорциональна длине пластин l и обратно пропорциональна расстоянию d между ними и анодному напряжению U_a.

Л. — Чудесно! В этой формуле не хватает только расстояния L между отклоняющими пластинами и экраном. Ведь понятно, что чувствительность увеличивается с увеличением этого расстояния, потому что для одного и того же угла отклонения перемещение пятна тем больше, чем дальше расположен экран.

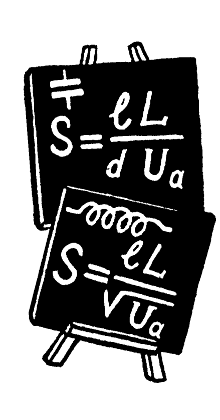
Н. — Ну, это совершенно очевидно. А вот для магнитного отклонения?

Л. — Дело происходит приблизительно таким же образом. Чувствительность и здесь пропорциональна длине l отклоняющего поля, через которое проходят электроны, и расстоянию L между катушками и экраном. Чувствительность уменьшается, когда анодное напряжение U_a увеличивается, но не в том же отношении, что при электростатическом отклонении. В этом случае чувствительность обратно пропорциональна квадратному корню из величины анодного напряжения.

Н. — Иначе говоря, если напряжение увеличивается в 4 раза, то чувствительность уменьшается только в 2 раза?

Л. — Если так пойдет дальше, ты утрешь нос Лейбницу, Ньютону и Эйлеру, вместе взятым...

Н. — Однако все это мне не разъясняет, каким образом вопросы чувствительности заставляют в больших трубках отдать предпочтение способу электромагнитного отклонения.

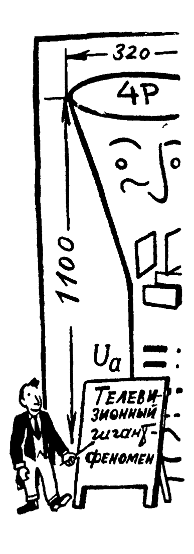


Л. — Возьмем конкретный пример. Допустим, что у нас трубка с электростатическим отклонением с экраном диаметром 160 *мм* и общей длиной 55 *см*. Напряжение, приложенное ко второму аноду, составляет 2 500 *в*, а чувствительность равна 0,3 *мм* на вольт. Чтобы заставить пятно отклониться на весь диаметр экрана, нужно, следовательно, изменить напряжение отклоняющих пластин на 160 : 0,3 = 533 *в*. Пусть по мановению волшебной палочки все размеры окажутся увеличенными вдвое. У нас появится трубка, имеющая экран диаметром 320 *мм*, что очень недурно, и длину 110 *см*...

Н. — ...что уже гораздо хуже.

Л. — Оставим пока в стороне вопрос о размерах. А других неудобств ты не видишь?

Н. — Честное слово, нет. Ведь чувствительность-то увеличится в таком же соотношении. В самом деле, длина пластин увеличится вдвое, что хорошо, а расстояние между ними также увеличится вдвое, что уже плохо. Матч с ничейным результатом. Но из-за того, что расстояние пластин от экрана увеличится вдвое, чувствительность в конечном результате также увеличится в 2 раза. Следовательно, при тех же 533 *в* мы заставим пятно переместиться по экрану, диаметр которого увеличился вдвое. Видишь, ничего не изменилось.



Л. — Да нет же, Незнайкин, изменилось. Ты просто напросто забыл, что, удваивая диаметр экрана, мы увеличиваем в 4 раза его поверхность. И яркость его, следовательно, будет в 4 раза слабее, потому что мы его бомбардируем при помощи той же электронной пушки, скорость же электронов не увеличилась. Световой поток, полученный таким способом, будет недостаточен, когда распределится по увеличенному экрану.

Н. — Что же делать?

Л. — Нужно увеличить в 4 раза и анодное напряжение. При напряжении 10 000 *в* мы опять получим такое же количество света на квадратный сантиметр поверхности экрана.

Н. — Но если ты увеличишь в 4 раза напряжение на последнем аноде, то чувствительность уменьшится также в 4 раза!

Л. — В этом-то вся трагедия. Значит, нам нужно будет для осуществления развертки на весь экран подать громадное напряжение — в 2 132 *в!*

Н. — А, может быть, дело пошло бы лучше при электромагнитном отклонении?

Л. — Несомненно, так как и в этом случае нужно было бы увеличить анодное напряжение в 4 раза для поддержания той же яркости изображения. Но при этом чувствительность уменьшится только в 2 раза, как мы уже говорили. Следовательно, увеличение необходимой для отклонения мощности будет лежать в разумных границах.

Н. — Итак, да здравствует магнитное поле! Но все же это не решает вопроса габаритов.

Л. — Нет, решает. Ведь в электростатических трубках отклонение пучка ограничено углом примерно 20° по отношению к оси, что приводит к длинным трубкам. В случае же магнитного отклонения можно превысить этот угол почти в 3 раза (рис. 26), что дает возможность применять значительно более короткие трубки.

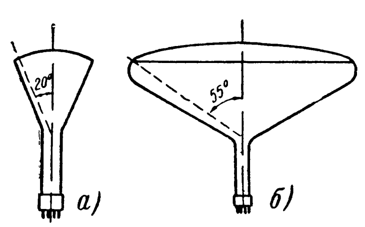


Рис. 26. Колбы трубок.

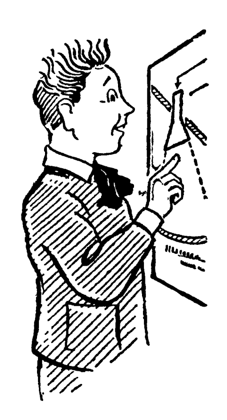
а — с электростатическим отклонением; *б* — с магнитным отклонением.



Н. — Вот я и готов вступить в ОЗРТЭО.

Л. — Что это за научное общество?

Н. — Это Объединение За Распространение Трубок с Электромагнитным Отклонением...



БЕСЕДА ПЯТАЯ

Теперь, когда электронно-лучевая трубка не является для Незнайкина чем-то непонятным, Любознайкин изложит ему способы создания отклоняющих напряжений. Используемые как при передаче, так и при приеме, они обеспечивают развертку изображений. Какова должна быть их форма? Как их получать? Вот основные вопросы этой беседы, во время которой наши приятели обсудят следующие темы: пилообразные напряжения; их формирование с помощью механического устройства; вокруг света за два часа; заряд и разряд конденсатора; постоянная времени; экспоненциальная кривая; генератор развертки на неоновой лампе.

ПИЛЫ ДЛЯ РЕЗКИ ВРЕМЕНИ

Патент Незнайкина



Любознайкин. — В чем дело, Незнайкин? Почему это у тебя сегодня такой торжественный и в то же время полный ложной скромности вид?

Незнайкин. — О! Ничего особенного. Просто я думаю взять патент.

Л. — Ты изобрел что-нибудь интересное? Не будет с моей стороны нескромным узнать, в какой области проявилась твоя изобретательность?

Н. — Не издевайся надо мною! Понятно, что мое изобретение касается телевидения. С тех пор, как мы стали говорить о нем, я все больше и больше увлекаюсь этой отраслью техники. А так как ты мне ее объясняешь недостаточно быстро, я вынужден самостоятельно отыскивать решения тех проблем, которые волнуют мой ум. Вот так-то я и изобрел свой «вращающийся отклонитель».

Л. — Это что-то новое. Я по крайней мере никогда не слышал о таком устройстве.

Н. — Я тебе вполне доверяю, Любознайкин, и изложу свою идею, но разумеется, под большим секретом. С тех пор, как ты мне рассказал об анатомии и физиологии электронно-лучевых трубок, я много размышлял о способе осуществления движения электронного пятна таким образом, чтобы заставить его чертить последовательные линии развертки.

Л. — Мы уже слегка коснулись этого вопроса в конце нашей третьей беседы, после того как рассмотрели трубку с электростатическим отклонением.

Н. — Да, я припоминаю. Мы тогда установили, что нужно прикладывать к горизонтально отклоняющим пластинам напряжение, постепенно переходящее от отрицательных значений к положительным, чтобы перемещать пятно с постоянной скоростью слева направо; затем, чтобы заставить его очень быстро вернуться налево, нужно резко перейти от положительного к отрицательному напряжению. Так развертывается одна строка. А затем все должно начинаться сначала.

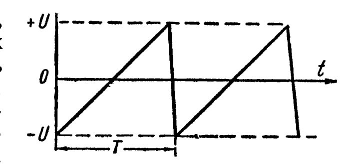
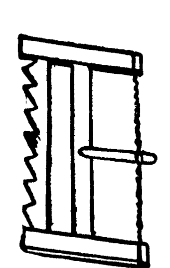


Рис. 27. Форма напряжения развертки.

Л. — Мог бы ты графически изобразить форму напряжения, необходимого для развертывания строк?

Н. — Ничего не может быть легче (рис. 27). Переход от отрицательного напряжения $-U$ к положительному $+U$ должен происходить постепенно, с постоянной скоростью, для того чтобы пятно перемещалось тоже с постоянной скоростью. Таким образом, на моем рисунке этот переход я изображаю прямой линией, идущей от $-U$ к $+U$ в течение времени T, равного длительности одной строки. Затем прямая вертикальная линия показывает мгновенное изменение $+U$ на $-U$, определяющее возврат пятна. И все начинается сначала.



Электронная пила

Л. — Тебе ничего не напоминает форма линий, которые ты начертил?

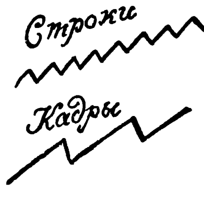
Н. — Да, напоминает. Это похоже на зубья пилы.

Л. — Правильно. Поэтому оно и называется «пилообразным напряжением».

Н. — Я думаю, что в трубке с электромагнитным отклонением нужно использовать ток такой же формы.

Л. — И ты не ошибаешься.

Н. — Такое же пилообразное напряжение (или ток) должно определять отклонение пятна в вертикальном направлении. Только частота его будет гораздо ниже, потому что здесь уже речь идет о количестве кадров в секунду или — в случае чересстрочной развертки — о количестве полукадров в секунду.



Л. — Я с удовольствием констатирую, что ты основательно продумал вопрос. Но все это мне не разъясняет принципа твоего «вращающегося отклонителя».

Н. — Мы к этому приближаемся. Прибор, который я имею честь тебе представить (рис. 28), — это генератор пилообразных напряжений для горизонтального и вертикального отклонения пятна. В основном это цилиндр из изолирующего материала, являющийся каркасом для проволочного торои-

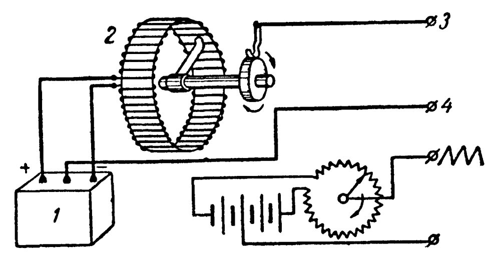
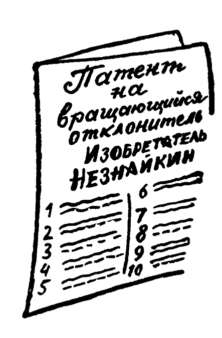


Рис. 28. Конструкция «вращающегося отклонителя» и схема его включения.

1 — источник питания; *2* — проволочное сопротивление; *3* — напряжение развертки; *4* — нулевая точка.



дально намотанного сопротивления. На оси цилиндра расположен вращающийся вал, на котором закреплен движок, создающий контакт с проволочным сопротивлением на внутренней стороне цилиндра.

Л. — Но, дорогой мой, то, что ты мне описываешь с такими подробностями, чрезвычайно похоже на самые обычные потенциометры, используемые во всех радиоприемниках.



Н. — Лучше ты и не мог сказать. Действительно, мой отклонитель — это настоящий потенциометр, который отличается от обычных только отсутствием ограничителей, что дает движку возможность бесконечно вращаться в одном и том же направлении.

Л. — Но как же действует этот прибор?

Н. — Послушай, Любознайкин! Неужели ты до сих пор не понял, что я подключаю к концам обмотки сопротивления источник достаточного напряжения. Поэтому при каждом обороте движок будет последовательно переходить от крайнего отрицательного значения напряжения к крайнему положительному; затем сразу же он опять попадет на крайнее отрицательное напряжение и т. д.

Слабые стороны механики

Л. — Поздравляю тебя с твоим изобретением. Это совсем не плохо придумано. И я бы с удовольствием увидел в радиошколах демонстрационный прибор, основанный на твоей идее.

Н. — Я, впрочем, еще не закончил свое изложение. У меня предусмотрен мотор, который будет вращать движок отклонителя со скоростью 50 *об/сек,* чтобы столько же раз отклонять пятно в вертикальном направлении для получения чересстрочной развертки. При помощи редуктора с зубчатой передачей 2 оборотам первого отклонителя (или полному кадру) будут соответствовать 625 оборотов движка второго отклонителя, обеспечивающего развертку строк.



Л. — Это очень мило выглядит в теории. Но представляешь ли ты себе скорость, которой достигнет твой отклонитель строк?

Н. — Ее легко вычислить. 625 строк современного телевизионного стандарта развертываются 25 раз в секунду. Это дает в общем 625 · 25 = = 15 625 *об/сек.*

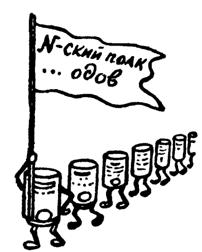
Л. — Никакой движок не сможет оказать сопротивления центробежным силам, которые разовьются при таком вращении. Да и износ проволочного сопротивления оказался бы слишком быстрым.



Н. — Право, я об этом не подумал!.. Решительным образом, механика пережила себя. Держу пари, что ты меня заставишь свалить мои отклонители в кучу старого железного хлама, чтобы заменить их какой-нибудь чудо-системой на 100% электронной...

Л. — Ты заранее выиграл. Твой прибор, как ты его замыслил, используется в некоторых радиолокационных установках с медленным вращением. Но при частотах и скоростях телевидения только электроны обладают достаточной скоростью для решения всех возникающих задач. Подумай только, в одном кадре шириной 30 *см*, разложенном на 625 строк, пятно пробегает 15 625 раз в секунду по 60 *см* туда и обратно по каждой строке. А это составляет путь в 9,4 *км* в секунду! При этой скорости пятно обежало бы весь земной шар вдоль экватора за час с небольшим и пересекло бы Париж в самом его широком месте за 1 *сек*.

Электронные песочные часы



Н. — Итак, сюда все диоды, триоды, пентоды и прочие «оды!». Вперед, электронные батальоны!

Л. — По правде сказать, лампы играют только вспомогательную роль в «развертках времени», или просто «развертках», как называют генераторы пилообразного напряжения.

Н. — Развертывающее устройство представляет собой, очевидно, нечто вроде песочных часов, где песчинки заменены электронами?

Л. — Ты правильно подметил. Как и в песочных часах (рис. 29), где уровень песка в нижней половине регулярно поднимается до тех пор, пока весь



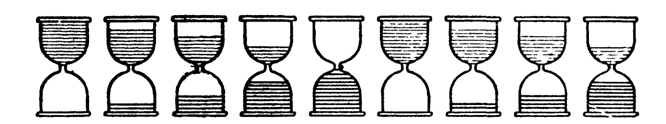
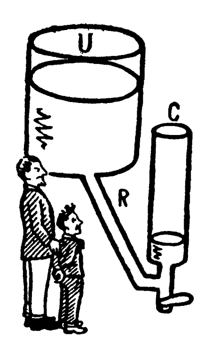


Рис. 29. В песочных часах уровень песка постепенно поднимается вплоть до момента, когда их переворачивают, после чего все начинается сначала. То же происходит и с напряжением на зажимах конденсатора во временной развертке.

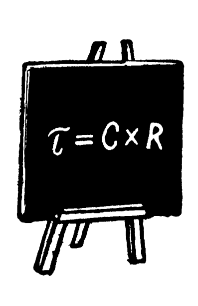
песок не пересыпется, после чего часы переворачивают и нижняя половина мгновенно пустеет, так и в развертках времени ток постепенно заряжает конденсатор до момента, когда конденсатор быстро разряжается; после этого цикл явлений повторяется.



Н. — Таким образом, если я тебя правильно понял, развертка состоит в основном из конденсатора. Но почему разряд происходит быстрее, чем заряд?

Л. — Потому что его заряжают через большое сопротивление, а разряжают через весьма малое сопротивление. Вообрази себе, Незнайкин, источник постоянного напряжения U, который подключен через сопротивление R к конденсатору C (рис. 30). В тот момент, когда ты замкнешь такую цепь, возникнет ток, стремящийся зарядить конденсатор, т. е. создать между его обкладками ту же разность потенциалов, что и между зажимами источника напряжения. Но заряд не происходит мгновенно, так как сопротивление R ограничивает величину тока.

Н. — Мне думается, что эту цепь можно было бы сравнить с резервуаром воды U большого объема, соединенного при помощи узкого трубопровода с другим резервуаром C значительно меньших размеров (рис. 31). Резервуар C не может наполниться мгновенно, ибо труба R ограничивает приток жидкости.



Л. — Твое сравнение тем правильнее, чем большей емкостью обладает резевуар-источник U по сравнению с резервуаром-емкостью C. Нельзя допускать, чтобы заполнение резервуара C значительно понижало уровень воды в резервуаре C, т. е. напряжение источника.

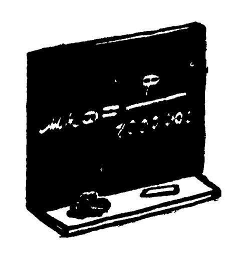
Н. — Мне кажется, что время заряда зависит не только от сопротивления R, но также от емкости C. Чем емкость больше, тем больше нужно электронов, чтобы ее зарядить. И в моем гидравлическом сооружении чем больше объем резервуара C, тем больше нужно времени, чтобы поступившая туда вода достигла того же уровня, что и в резервуаре U.

Л. — Вот почему произведение сопротивления R на емкость C названо «постоянной времени» цепи. Если выразить R в омах, а C в фарадах, то эта

постоянная времени будет измерять время в секундах, нужное для того, чтобы напряжение на обкладках конденсатора достигло около $^2/_3$ напряжения источника *U*.

Н. — Таким образом, при сопротивлении 10 000 *ом* и конденсаторе 2 *мкф* постоянная времени будет составлять 20 000 *сек*.

Л. — Ах, Незнайкин, какой позор! Микрофарада в миллион раз меньше фарады. И у цепи будет постоянная времени 20 000, деленные на 1 000 000, или $^2/_{100}$ *сек*.



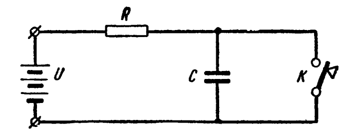


Рис. 30. Принципиальная схема развертки в самом общем виде.

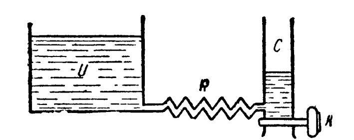
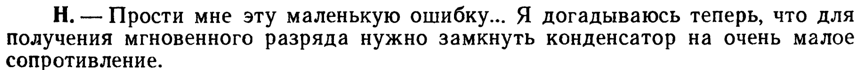


Рис. 31. Гидравлический эквивалент схемы на рис. 30.

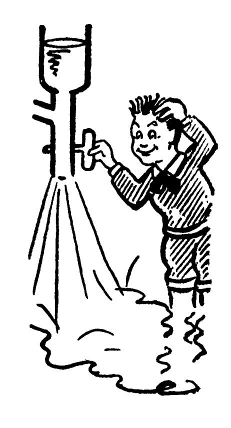


Н. — Прости мне эту маленькую ошибку... Я догадываюсь теперь, что для получения мгновенного разряда нужно замкнуть конденсатор на очень малое сопротивление.

Л. — Практически это можно сделать, замкнув выключатель *K*.

Н. — Или в моей гидравлической модели — вылив воду из резервуара *C* при помощи крана *K* с большой пропускной способностью.

Л. — Твоя аналогия достаточно приемлема.



История, которая никогда не заканчивается

Н. — Я все еще думаю о постоянной времени. Раз она выражает длительность заряда до уровня, равного двум третям напряжения источника, общая продолжительность заряда должна быть наполовину больше. Так, в примере, который мы рассмотрели, постоянная времени составляет $^2/_{100}$ *сек*. Значит, конденсатор должен быть полностью заряжен за $^3/_{100}$ *сек*.

Л. — Неправильно! Трижды неправильно! Запомни, Незнайкин, что конденсатор никогда не заряжается до конца!



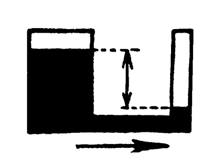
Н. — Что это, шутка? Я не могу понять, по правде говоря, почему по прошествии достаточного количества времени напряжение на обкладках конденсатора *C* не сможет достигнуть той же величины, что и у источника *U*.

Л. — Считаешь ли ты ток заряда постоянным?

Н. — Раз напряжение источника *U* постоянно, так же как сопротивление *R* и емкость *C*, то нет никакого основания считать, что величина тока изменяется.

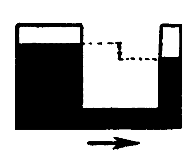
Л. — А вот как раз основание и существует. То, что заставляет двигаться электроны через сопротивление по направлению к обкладке конденсатора, это разность потенциалов между этой обкладкой и отрицательным полюсом источника *U*. В начале заряда эта разность потенциалов равна самому напряжению источника *U*. Но как только заряд начался, как только какое-то количество электронов накопилось на обкладках конденсатора, разность потенциалов уменьшается. И чем дольше длится заряд, тем меньше эта разность потенциалов. Что же произойдет с величиной тока?

Н. — Очевидно, она настолько же уменьшится. Итак чем больше заряжен конденсатор, тем медленнее дальнейший темп заряда.

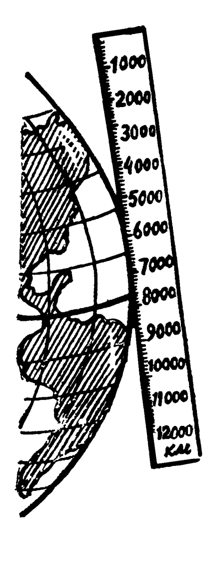


Л. — Будем считать, что наш источник напряжения равен 100 *в*. Если постоянная времени равна $^2/_{100}$ *сек*, то через этот промежуток времени напряжение между обкладками конденсатора будет равно 65 *в*. Измерим его через следующие $^2/_{100}$ *сек*; оно увеличится только на $^2/_3$ разницы между 100 и 65 *в*. Мы получим около 89 *в*. Дадим возможность пройти еще $^2/_{100}$ *сек*, и у нас будет 97 *в*.

Н. — Но это же никогда не кончится! Ведь в каждый данный промежуток времени мы будет увеличивать напряжение конденсатора только на одну часть того, чего ему не хватает, чтобы достигнуть напряжения источника. Для получения зарядного тока нужно, чтобы конденсатор не был полностью заряжен. А чтобы его зарядить полностью, необходим зарядный ток. Какой порочный круг!!!



Л. — Да, Незнайкин. Заряд конденсатора никогда не прекращается. Проходят века, поколения сменяют друг друга, образуются и гибнут империи, а конденсатор так и не будет никогда полностью заряжен...



Н. — А мой резервуар *С* тоже никогда не будет заполнен водой до того же уровня, что и резервуар *U*. Ведь для того чтобы туда поступала вода, необходима разность уровней.

Л. — Вот кривая, показывающая закон изменения напряжения на конденсаторе во время заряда (рис. 32). Эту кривую называют «показательной» («экспоненциальной»)[1]. Точно так же кривая разряда тоже является экспонентой.

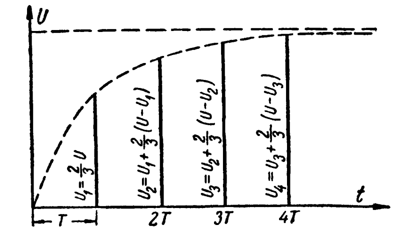


Рис. 32. Экспоненциальная кривая напряжения между обкладками конденсатора при заряде. За каждый интервал времени, равный постоянной времени *T*, напряжение увеличивается на две трети того напряжения, которого еще не хватает до напряжения источника *U*.

Н. — Но ведь такие изменения напряжения не могут служить для управления перемещением пятна. Нам нужно линейное изменение напряжения, изображенное графически в виде прямой линии, а вовсе не эти экспоненциальные кривые.

Л. — Теоретически ты прав. Однако практически применяют и такие кривые, но при условии использования только небольшого начального участка, который можно рассматривать с известным приближением как прямой.

Н. — Подобно этому небольшая часть земной поверхности, которую может охватить наш взгляд, кажется плоской, хотя Земля и круглая.

Л. — Более того, удается исправить отсутствие линейности в развертках времени, создавая искусственно деформации обратного знака.

Электронный прерыватель



Н. — В заключение я должен сказать, что развертывающее устройство является очень простым устройством. Источник напряжения, конденсатор и сопротивление хорошо мне знакомы. Меня лишь слегка беспокоит разрядный выключатель. Каким образом можно открыть его и закрыть (на мгновение) 15 625 раз в секунду?

Л. — Ты, конечно, догадываешься, что это вовсе не механическое приспособление...

Н. — Да, это я понимаю. Электроника во всем, чего же еще! Но какая же вакуумная лампа будет выполнять в данном случае эту чудесную работу?

Л. — Это не вакуумная, а газоразрядная лампа. В простейших случаях это неоновая лампа.

Н. — Не может быть! Это из тех ламп дневного света, одну из которых я недавно разбил, так как она создавала массу помех?..

Л. — Неоновая лампа, которую мы применим, относится к тому же типу ламп. Но она выполнена в виде небольшой стеклянной колбы, содержащей два электрода в форме диска, спирали или цилиндра и наполненной неоном под слабым давлением.

Н. — И без нити накала?

Л. — Да, Незнайкин. Впрочем, нам с тобою уже приходилось помещать неоновую лампу за диском Нипкова; и у нее тоже не было нити. Неоновая лампа начинает светиться, когда напряжение между двумя электродами достигает некоторой величины, так называемого «напряжения ионизации» или «напряжения зажигания». В этот момент молекулы газа распадаются на положительные и отрицательные частицы (ионы и электроны), которые, перемещаясь по направлению к электродам противоположной полярности, образуют ток. Пространство между электродами становится тогда проводником. Чтобы ионизация (и свечение) прекратилась, следует снизить напряжение на некоторую величину. Например, для некоторых образцов ионизация происходит тогда, когда напряжение достигает 110 *в*. Чтобы прекратить ее и погасить лампу, нужно снизить напряжение до 80 *в*.

Н. — А каким образом используешь ты эту неоновую лампу в роли «автоматического разрядника»?

---

[1] Она называется так потому, что в описывающем ее уравнении время фигурирует в показателе степени.

Л. — Просто включая ее вместо выключателя *К* (рис. 33).

Н. — Почему на схеме неоновая лампа *НЛ* заштрихована?

Л. — Чтобы показать, что речь идет о газоразрядной лампе.

Н. — Мне кажется, я понимаю, что происходит. Напряжение источника *U*, без сомнения, выше напряжения ионизации неоновой лампы (рис. 34). И вот, пока напряжение на конденсаторе не достигло напряжения ионизации, заряд протекает нормально. Но в момент, когда напряжение конденсатора достигает напряжения ионизации, лампа зажигается, становится проводником и конденсатор быстро разряжается. Когда его напряжение падает до величины, при которой исчезает ионизация, разряд прекращается, возобновляется заряд и т. д.

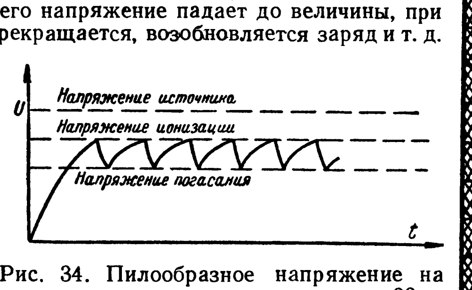


Рис. 33. Схема генератора пилообразного напряжения с неоновой лампой.

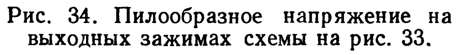
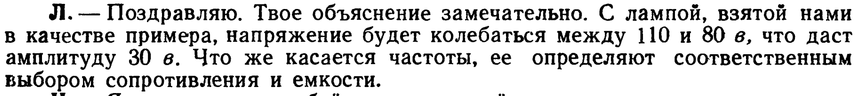


Рис. 34. Пилообразное напряжение на выходных зажимах схемы на рис. 33.



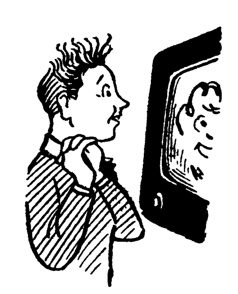


Л. — Поздравляю. Твое объяснение замечательно. С лампой, взятой нами в качестве примера, напряжение будет колебаться между 110 и 80 *в*, что даст амплитуду 30 *в*. Что же касается частоты, ее определяют соответственным выбором сопротивления и емкости.

Н. — Я полагаю, что любой телевизионный приемник содержит два неоновых генератора: один — для горизонтальной, а другой — для вертикальной развертки.

Л. — Нет, Незнайкин. В телевидении никогда не применяют неоновых генераторов.

Н. — Конечно, это слишком хорошо и слишком просто!



БЕСЕДА ШЕСТАЯ

Существует большое разнообразие генераторов развертки. Их схемы часто довольно просты, но принципы работы могут, наоборот, оказаться достаточно сложными. Тем не менее Незнайкину удается понять терпеливые объяснения Любознайкина, касающиеся генераторов развертки с газоразрядными лампами. Попутно наши друзья затрагивают проблемы синхронизации и линеаризации колебаний, генерируемых развертками. Таким образом, в беседе будут затронуты следующие вопросы: три основных элемента развертки; газоразрядный триод; генераторы развертки на тиратроне; коэффициент сеточного управления; регулировка амплитуды колебаний; синхронизирующие импульсы; начало разряда; линеаризация насыщенным диодом; линеаризация пентодом; использование ламп с противоположной кривизной характеристики.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГЕНЕРАТОРОВ РАЗВЕРТКИ

Незнайкин пишет Любознайкину

Дорогой Любознайкин!

Всякое терпение имеет границы. В конце нашей последней беседы мое терпение окончательно истощилось. Ты занял по отношению ко мне оскорбительно насмешливую позицию. Сколько раз, уже после того как ты подробно объяснял какое-нибудь устройство, ты вдруг заявлял, что в телевидении оно не применяется. Так именно ты поступил в отношении механических систем передачи изображений и в отношении электронно-лучевых трубок с электростатическим отклонением. И в довершение всего ты мне весьма мило объяснил действие генератора развертки с неоновой лампой, который, как ты мне заявил в конце беседы, никогда не используется в телевидении.

К чему же тогда продолжать? Не удивляйся же, если ты меня не увидишь в обычное время.

Твой опечаленный Н.

Любознайкин отвечает Незнайкину

Дорогой Незнайкин!

Твое письмо показывает, что ты обижен. Я этим очень огорчен. Но ты ошибаешься, полагая, что я издеваюсь над тобой.

Это верно, что мне случалось рассказывать тебе об устройствах, которые больше не применяются, а иногда и вообще не применялись в телевидении. Но, поступая так, я вовсе не заставлял тебя понапрасну терять время, ибо их анализ в значительной степени облегчал тебе понимание более сложных устройств.

В частности, это относится к генератору с неоновой лампой. Его не применяют потому, что амплитуда его колебаний не может регулироваться по желанию, форма колебаний слишком искажена и он с трудом поддается синхронизации.

Однако я был прав, рассмотрев это очень простое устройство. Оно дало нам возможность легко разобрать принцип действия всех генераторов развертки, в которых используется заряд конденсатора через сопротивление.

Можно сказать, что во все эти устройства входят три основные части:

1) цепь заряда (в нашем случае — источник высокого напряжения, сопротивление, через которое проходит зарядный ток, и конденсатор, накапливающий заряд);

2) переключатель, включающий процесс заряда и прекращающий его в нужный момент (неоновая лампа, которая выполняет эти функции благодаря явлению ионизации);

3) наконец, цепь разряда, представленная в рассмотренном устройстве той же неоновой лампой, незначительное сопротивление которой в ионизированном состоянии создает возможность быстрого разряда.

Теперь, когда ты разобрался в принципе действия простейшего генератора развертки, для тебя не составит никакого труда изучить более сложные устройства. Что бы ты сказал, например, о введении сетки между катодом и анодом неоновой лампы?

Надеюсь, до скорого свиданья. Не злись на своего друга Любознайкина.

Тиратрон — газоразрядный триод

Л. — Как я рад опять с тобой встретиться, дорогой Незнайкин.

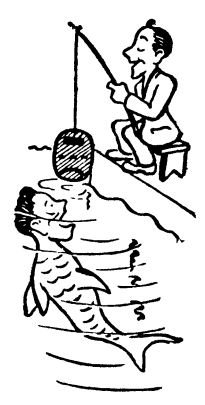
Н. — Разве мог я устоять перед искушением и не клюнуть на приманку в виде неонового триода?! Ведь так, кажется, его нужно называть.

Л. — Если тебе это нравится. Но обычное название триода, наполненного инертным газом под слабым давлением (неоном, аргоном или гелием), тиратрон.

Н. — Ты меня не заставишь опять пройти тот путь, который я когда-то уже прошел с вакуумными лампами и который нас привел от диода к октоду?

Л. — Такой опасности не предвидится. Трех электродов тиратрона вполне достаточно, чтобы получить прекрасный переключатель и разрядную цепь, необходимые в каждой уважающей себя развертке. Существуют еще тиратроны-тетроды, но мы о них здесь говорить не будем.

Н. — Очень хорошо... А как ты будешь включать тиратрон? Как неоновую лампу?



Л. — Вот полная схема (рис. 35). Как видишь, она незначительно отличается от схемы с неоновой лампой. Прежде всего мы видим зарядную цепь, где к зажимам высокого напряжения подключен конденсатор C через сопротивление R.

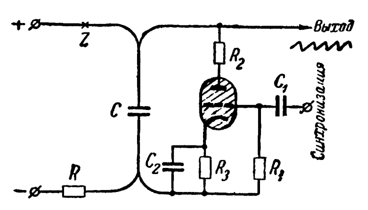
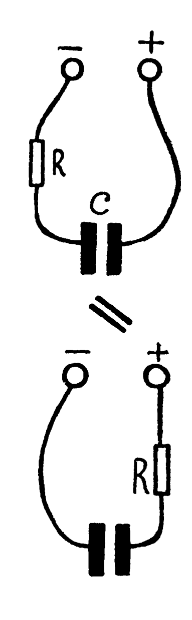


Рис. 35. Схема генератора развертки на тиратроне. Слева — цепь заряда, справа — цепь разряда.

Н. — Почему сопротивление включено между конденсатором и отрицательным, а не положительным полюсом?

Л. — Строго говоря, это ничего не изменяет. Конденсатор и сопротивление включены последовательно. Разницы никакой, будет ли один раньше другого или наоборот. И, если ты хочешь, можешь включить R в точке Z.

Н. — Да, я понимаю, что неважно, в каком порядке электроны встретят на своем пути тот или другой из элементов зарядной цепи.



Л. — Обратимся теперь к разрядной цепи. Как и в случае с неоновой лампой, она состоит из промежутка катод — анод газоразрядной лампы.

Н. — Не только. Я вижу еще два последовательно включенных сопротивления (R_2 и R_3). И все это подключено к выводам конденсатора, который нужно периодически разряжать.

Л. — Сопротивление R_2 в несколько сотен ом служит для ограничения разрядного тока. Потому что в момент его возникновения сопротивление промежутка катод — анод тиратрона настолько падает, что лампа может оказаться поврежденной слишком сильным током.

Н. — Что же касается R_3, помещенного между катодом и отрицательным полюсом, я догадываюсь, что оно служит для получения отрицательного напряжения смещения на сетке тиратрона, как это делается и в усилительных устройствах.

Л. — И ты не ошибаешься. Цепь R_3C_2 является, действительно, классическим устройством для получения напряжения смещения. Наконец, я тебя попрошу не обращать пока ни малейшего внимания на конденсатор C_1, соединяющий сетку с некой таинственной «синхронизацией».

Слово предоставляется сетке

Н. — Значит, практически все это почти не отличается от неонового генератора. Я думаю, что и здесь во время заряда напряжение на конденсаторе C достигает некоторой величины, после чего содержащийся в лампе газ ионизируется и его сопротивление резко падает. С этого момента конденсатор начинает разряжаться через лампу, пока его напряжение в достаточной степени не понизится и ионизация не прекратится. Нормальное сопротивление лампы восстанавливается, после чего цикл возобновляется.

Л. — Все это правильно.

Н. — Но в таком случае, как поется во французской песенке, «не было смысла менять министра». Другими словами, к чему вводить сетку, которая не меняет принципа работы газоразрядной лампы?!



Л. — Это не так, дружище. Ведь именно напряжение сетки определяет величину анодного напряжения ионизации. Пока в действие не вступила ионизация, лампа ведет себя, как обычный вакуумный триод. Интенсивность электронного потока зависит гораздо в большей степени от напряжения сетки, чем от напряжения анода...

Н. — Я это знаю. При этом коэффициент усиления показывает, во сколько раз влияние сетки на анодный ток больше влияния анода.

Л. — Совершенно верно... Наконец, наступает момент, когда анодное напряжение достаточно велико и сообщает электронам такую скорость, при которой они смогут ионизировать молекулы встречающегося на их пути газа...

Н. — От удара при столкновении один или несколько электронов выбиваются из молекулы и увеличивают поток электронов, направляющихся к аноду.

Л. — А что, по-твоему, происходит с такой искалеченной молекулой?



Н. — Благодаря ампутации молекулы заряжаются положительно и поступают в полное распоряжение отрицательно заряженных электродов.

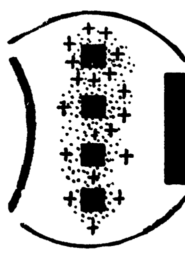
Л. — А какой из них самый отрицательный в нашей лампе?

Н. — Это, очевидно, сетка.

Л. — Следовательно, она окажется окруженной настоящим облаком положительных ионов. Вернемся, однако, назад. Анодное напряжение, при котором возникает ионизация, не является постоянным для тиратрона (как в неоновых лампах). Оно в значительной степени зависит от напряжения сетки.

Н. — Понятно. Чем отрицательнее заряд сетки, тем больше для устранения ее тормозящего действия нужно увеличить анодное напряжение, чтобы возникла ионизация (рис. 36).

Л. — Да, это именно так. Для каждого типа тиратронов существует постоянное соотношение между анодным напряжением U_a ионизации и соответ-



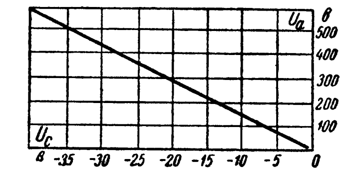
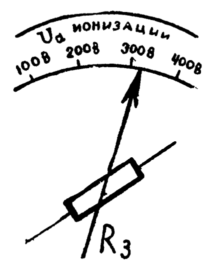


Рис. 36. Зависимость между анодным напряжением зажигания тиратрона и напряжением смещения на его сетке. Коэффициент сеточного управления равен 15.

ствующим напряжением сетки U_c. Это соотношение называется коэффициентом сеточного управления. Обычно его значение колеблется между 10 и 40. Но для газоразрядных тетродов оно может достигать и нескольких сотен.

Н. — Если я тебя правильно понял, в тиратроне с коэффициентом сеточного управления, равным, например, 20, ионизация начнется при напряжении на сетке, равном 15 *в*, тогда, когда анодное напряжение достигнет 15·20=300 *в*.



Л. — Ты меня прекрасно понял, Незнайкин. Регулируя напряжение смещения на сетке, мы можем устанавливать по желанию анодное напряжение ионизации тиратрона. Вот почему сопротивление R_3 сделано переменным, как это следует из пересекающей его стрелки.

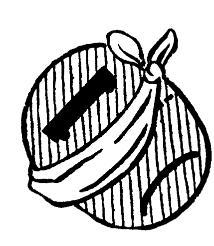
Сетке больше нечего сказать

Н. — Я полагаю, что именно напряжение сетки определяет также величину напряжения деионизации (погасания).

Л. — И ты жестоко ошибаешься. Ведь сетка, окруженная облаком положительных ионов, не оказывает ни малейшего влияния на электронный поток.

Н. — Даже если сильно увеличить отрицательное напряжение?

Л. — Даже в этом случае. Чем более она будет отрицательно заряжена, тем больше она притянет положительных ионов. Деионизация начнется только тогда, когда анодное напряжение упадет до значения, достаточно малого, чтобы ионизация могла поддерживаться.



Н. — Все это мне до чрезвычайности напоминает войну и мир...

Л. — Не вижу связи между произведением Толстого и тиратронными развертками.

Н. — Конечно, никакой связи здесь нет. Но сетка играет ту же роль, что и буржуазная пресса. Когда международное напряжение возрастает, эта пресса дает возможность общественному мнению достигнуть той опасной степени возбуждения, при которой разряд возникает внезапно в виде кровавого конфликта. С этого момента пресса становится бессильной положить этому конец, связанная цензурой. А война останавливается только из-за нехватки сражающихся, когда разряд уже почти закончен.

Л. — И самое ужасное, что цикл может возобновиться...

Н. — В заключение скажу, если я правильно понял, что сетка дает возможность регулировать по желанию анодное напряжение, при котором начинается разряд, но не напряжение конца разряда, постоянное для данной лампы. Следовательно, мы можем регулировать по желанию амплитуду пилообразных колебаний путем изменения напряжения смещения.



Л. — Это правильно. Пользуясь тиратроном, можно добиться, чтобы амплитуда колебаний была значительно большей, чем в генераторе с неоновой лампой.

Н. — Значит, я могу считать, что переменное сопротивление R_3 (рис. 35) является устройством для регулировки величины зубьев пилы. Что касается конденсатора C_2, я думаю, что он служит для пропуска переменной составляющей анодного тока.

Л. — Роль его действительно такова. Он должен сглаживать значительные колебания анодного тока, чтобы напряжение между сеткой и катодом было в достаточной степени постоянным. В момент ионизации, когда возникает значительный ток, число электронов на верхней обкладке конденсатора резко уменьшается и пластина оказывается заряженной положительно, в то время как избыток электронов направляется к нижней пластине. Когда разряд прекращается, анодный ток резко падает. Но в это время конденсатор C_2 начинает разряжаться через сопротивление R_3, сохраняя постоянным падение напряжения, благодаря чему на катоде поддерживается положительный по отношению к сетке потенциал. Таким образом, при условии достаточной емкости конденсатора C_2 напряжение сетки относительно катода не меняется во время всего цикла колебаний.

Синхроимпульсы и шлепки

Н. — Мог бы ты теперь открыть мне тайну синхронизации?

Л. — Охотно, дружище. Ты знаешь, что развертка изображений при приеме должна быть синхронизирована с разверткой при передаче. Иначе говоря, моменты, когда начинаются развертки каждой строки (или каждого кадра), должны строго совпадать во времени.

Н. — Я понимаю, что при малейшем рассогласовании (сдвиге по фазе) изображение станет настолько неузнаваемым, насколько это случилось бы с музыкальным отрывком, выполняемым оркестром, где каждый инструмент отставал бы от своего соседа на несколько секунд.

Л. — Чтобы избежать подобной... зрительной какофонии, в передаваемый сигнал включают короткие импульсы, указывающие конец каждой строки, так же как и более продолжительные импульсы (чтобы их можно было отличить от первых), указывающие конец каждого кадра (рис. 37).

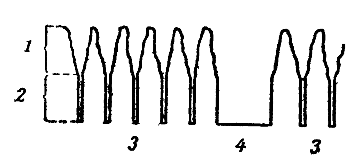
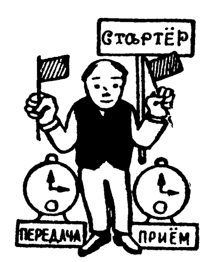


Рис. 37. Схематическое изображение формы полного телевизионного сигнала, содержащего видеосигнал и синхронизирующие строчные и кадровые импульсы.

1 — видеосигнал; *2* — синхроимпульсы; *3* — строчные синхроимпульсы; *4* — кадровые синхроимпульсы.



Н. — Это не импульсы, которые ты подаешь через конденсатор C_1 (рис. 35) на сетку тиратрона?

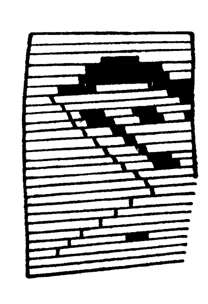
Л. — Безусловно. И делают так, чтобы они поступали в положительной полярности, т. е. чтобы при каждом импульсе сетка становилась на какое-то мгновение менее отрицательной.

Н. — Я как-то не очень хорошо улавливаю, что должно произойти. Лампа должна усиливать эти импульсы, так, что ли?

Л. — Нет, Незнайкин. Ты уже забыл о связи между напряжением сетки и напряжением ионизации.

Н. — Прости. Очевидно, когда сетка становится менее отрицательной в момент появления импульса, анодное напряжение ионизации уменьшается.

Л. — Необходимо, чтобы период собственных колебаний генератора развертки был чуть больше длительности одной строки (или одного кадра — для соответствующей развертки), иначе говоря, больше промежутка между двумя последовательными импульсами (рис. 38). До того как анодное напряжение на заряжающемся конденсаторе C (рис. 35) достигнет напряжения ионизации, возникает импульс, уменьшающий отрицательный заряд сетки и, следова-



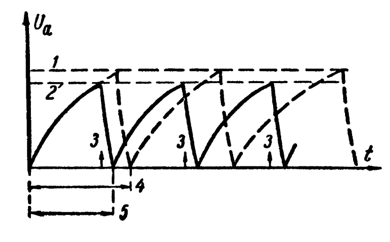
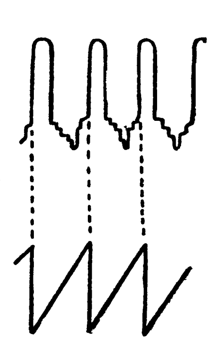
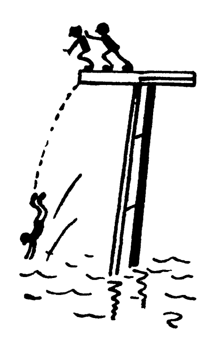


Рис. 38. Процесс синхронизации развертки. Положительный синхронизирующий импульс на сетке лампы уменьшает анодное напряжение зажигания и вызывает, таким образом, преждевременный разряд конденсатора в момент появления импульса.

1 — напряжение зажигания без синхроимпульсов; *2* — напряжение зажигания, уменьшенное под воздействием синхроимпульсов; *3* — моменты подачи синхроимпульсов; *4* — собственный период развертки; *5* — период синхронизированной развертки.





тельно, напряжение ионизации. Благодаря этому разряд начинается одновременно с импульсом синхронизации.

Н. — Думаю, что я тебя правильно понял. Возьмем, например, тиратрон, у которого коэффициент сеточного управления равен 20 и смещение на сетке равно — 15 *в*. Его напряжение ионизации, следовательно, составляет 300 *в*. Если же импульс синхронизации будет +1 *в*, он доведет смещение до —14 *в*. В этот момент напряжение ионизации будет составлять только 280 *в*. Разряд, следовательно, начнется раньше, чем в случае отсутствия импульсов.

Л. — Я вижу, что ты правильно понял.

Н. — Это было нетрудно. У нас, в плавательном бассейне, инструктор по плаванию синхронизирует прыгунов в воду.

Л. — ?..

Н. — Ну, да. Когда они готовятся к прыжку и немного задерживаются на краю трамплина, инструктор посылает их в воду легким, но твердым шлепком по спине... И они отправляются туда, описывая в воздухе великолепную параболу.



От насыщенного диода к пентоду

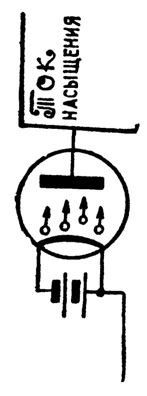
Л. — В рассмотренных генераторах мы имели дело с экспоненциальной кривой, кривизна которой должна быть, однако, возможно малой.

Н. — Нельзя ли для этого каким-либо способом поддерживать зарядный ток совершенно постоянным так, чтобы напряжение на выводах конденсатора возрастало пропорционально времени?

Л. — Это, действительно, возможно. А ты, Незнайкин, можешь найти такой способ ограничения?

Н. — Нужно было бы заменить зарядное сопротивление R (рис. 35) чем-нибудь, что не пропускает ток выше заданной величины. Лампа, понимая под лампой промежуток катод — анод, не могла бы для этого пригодиться?

Л. — Конечно. Возьми диод (предпочтительно прямого накала), который работает в режиме насыщения, т. е. так, что все излученные нитью электроны достигают анода (рис. 39). Тогда анодный ток не сможет превысить величину



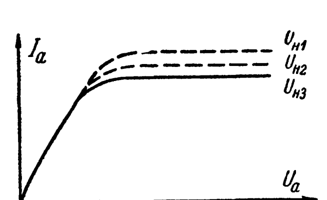


Рис. 39. Анодный ток диода в зависимости от анодного напряжения для трех различных значений напряжения накала $U_н$. Начиная с некоторой величины анодного напряжения, увеличение тока прекращается (явление насыщения).

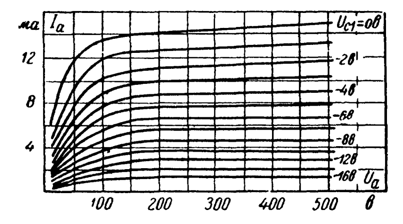
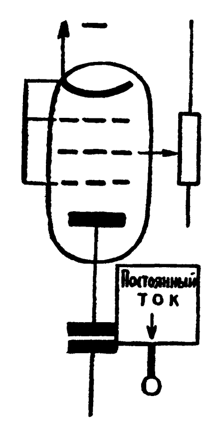


Рис. 40. Кривые анодного тока пентода в зависимости от анодного напряжения (для различных значений напряжения U_{c1} на управляющей сетке). Начиная с некоторой величины, возрастание анодного напряжения U_a практически не влечет за собой заметного увеличения анодного тока I_a.



тока насыщения, образованного полной электронной эмиссией нити накала. Впрочем, ты можешь регулировать его величину, изменяя в известных границах напряжение накала.

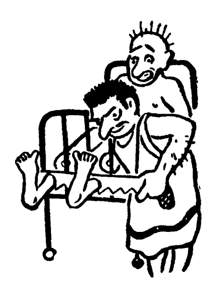
Н. — А зачем нужна лампа прямого накала?

Л. — Потому что явление насыщения в ней гораздо более ярко выражено, чем в лампах косвенного накала, и, кроме того, в этой лампе легко можно регулировать величину тока насыщения, изменяя напряжение накала. Но если тебе не нравятся устаревшие лампы, ничто не мешает тебе использовать обычный пентод с косвенным накалом.

Н. — А он работает тоже в режиме насыщения?

Л. — Термин не очень подходящий, но результат такой же. Если рассматривать кривые изменения анодного тока в зависимости от напряжения на аноде (рис. 40), можно заметить для каждой кривой (соответствующей данному напряжению первой сетки), что, начиная с некоторого анодного напряжения, ток изменяется лишь в незначительной степени. В этой области характеристики пентод начнет заряжать конденсатор током постоянной величины.

Вот схема развертки (рис. 41), где пентод заменяет зарядное сопротивление R. Можно заметить, что напряжение экранирующей сетки пентода регулируется при помощи потенциометра R_5, включенного последовательно с сопротивлением R_4 между полюсами высокого напряжения (конденсатор C_3 является развязывающим).



Н. — Я догадываюсь, что путем изменения напряжения на экранирующей сетке ты устанавливаешь нужную рабочую точку пентода. Все насыщенные

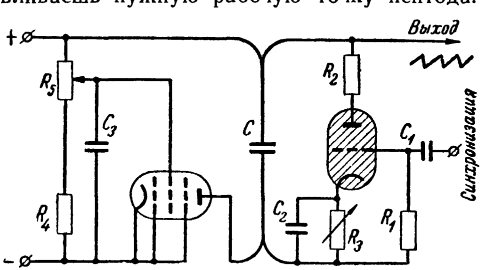


Рис. 41. Развертка, линеаризированная с помощью пентода в качестве зарядного сопротивления.

диоды и другие пентоды с током постоянного значения напоминают мне историю Прокрустова ложа... Однако досадно, что нужно применять дополнительную лампу только для линеаризации формы напряжения.



Искусство использования кривых

Л. — Поэтому-то и предпочигают возложить эту задачу на усилительную лампу, которая при любых условиях нужна для увеличения до требуемой величины амплитуды зубьев пилы.

Н. — А как же она выпрямит кривизну напряжения?

Л. — Попросту изменяя его форму в обратном направлении. В самом деле, имей в виду, Незнайкин, что необходимо уметь использовать не только людские добродетели и достоинства вещей, но также их пороки и недостатки. Что может быть досаднее лампы, характеристика которой недостаточно линейна и которая поэтому деформирует усиливаемые напряжения? А в рассматриваемом случае этот недостаток становится истинным благом.

Н. — Я понимаю, что происходит. Возьмем лампу, у которой характеристика анодного тока в функции напряжения сетки представляет собой кривую. Это одна из наших старых добрых знакомых: лампа с переменной крутизной, крутизна которой увеличивается, когда уменьшается смещение. Таким образом, чем сильнее поступающий сигнал, тем более он усиливается. Это как раз то, что нужно для спрямления экспоненциальной кривой, которая по мере подъема все более и более наклоняется.

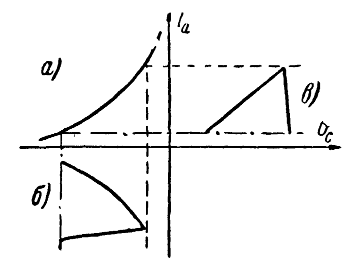


Рис. 42. Линеаризация экспоненциального зуба пилы с помощью усилительной лампы с нелинейной характеристикой.

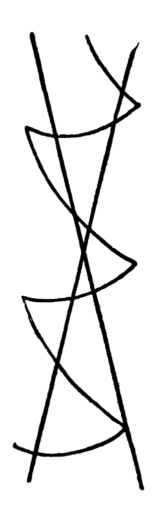
а — характеристика лампы; *б* — напряжение, подлежащее усилению; *в* — анодный ток лампы.

Л. — Вот посмотри на небольшой рисунок (рис. 42), ясно показывающий, каким образом линеаризируются зубья пилы. Если форма характеристики лампы и зубьев симметрична, то взаимная компенсация кривизны оказывается практически вполне удовлетворительной. Изменяя смещение, можно всегда выбрать такую часть характеристики, которая имела бы кривизну, требуемую для компенсации нелинейности зубьев пилы.

Большое распространение получили также схемы линеаризации, использующие более или менее сложные цепи отрицательной обратной связи. Вообще это задача, вполне удовлетворительного решения которой пока не найдено.

Н. — Я думаю, что пришла пора возвестить мне, что в телевидении никогда не применяются ни тиратронные генераторы развертки, ни линеаризирующие усилительные лампы.

Л. — Успокойся, и те и другие там широко используются.

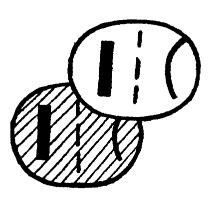


БЕСЕДА СЕДЬМАЯ

Если предыдущая беседа затрагивала в основном генераторы развертки с газоразрядными лампами (тиратронами), то в настоящей беседе рассматриваются различные схемы развертки с вакуумными лампами. Изучение их потребует от Незнайкина (как и от читателя) довольно напряженного внимания. В самом деле, иногда придется следить за одновременным изменением многих токов и напряжений, что не всегда легко, но благодаря чему будут усвоены следующие понятия: разряд через вакуумную лампу; блокинг-генератор; фазы его работы; генераторы развертки с блокинг-генератором; мультивибратор; колебания прямоугольной формы; мультивибратор с катодной связью; формирование пилообразного напряжения.

ГЕНЕРАТОРЫ РАЗВЕРТКИ НА ВАКУУМНЫХ ЛАМПАХ

Генератор развертки типа «модель Незнайкина»



Незнайкин. — Вопреки твердо установившейся традиции ты утверждал, заканчивая нашу последнюю беседу, что развертки на тиратронах очень удачны и широко применяются в современном телевидении.

Любознайкин. — Верно, несмотря на незначительный срок службы газоразрядных ламп по сравнению с вакуумными лампами.

Н. — Я много думал над этим и считаю, что использование тиратронов — ошибка. Вакуумные лампы прекрасно могли бы выполнить те же функции. Я составил чрезвычайно простую схему, которая сметет с лица земли все тиратроны.

Л. — Я очень хочу ее посмотреть, однако предупреждаю, что задолго до тебя были придуманы разнообразные типы генераторов развертки с вакуумными лампами.

Н. — До чего жалко, что я не родился 100 лет назад. Мне больше нечего изобретать!.. Все же вот развертка «модель Незнайкина». В ней применена вакуумная лампа — триод с высокой крутизной и ярко выраженной кривизной характеристики в момент появления анодного тока. Таким образом, если смещение на лампе выбрано так, чтобы анодный ток дошел до нуля, то положительный импульс на сетке вызовет анодный ток определенной величины (рис. 43).

Л. — Я понимаю, куда ты гнешь.

Н. — Это и нетрудно. В моей схеме (рис. 44), как и в схеме с тиратроном, имеется зарядная цепь, состоящая из сопротивления R и конденсатора C. Разрядная цепь образуется промежутком катод — анод триода. Нормально благодаря сопротивлению R_1 (блокированному конденсатором C_1) на сетке триода создается как раз такое смещение, чтобы ток был равен нулю. Но через конденсатор C_2 я подаю на сетку синхронизирующие импульсы положительной полярности. При поступлении каждого импульса возникает анодный ток, давая возможность конденсатору C быстро разрядиться. Что ты об этом думаешь? Уж, конечно, ты приведешь массу возражений...

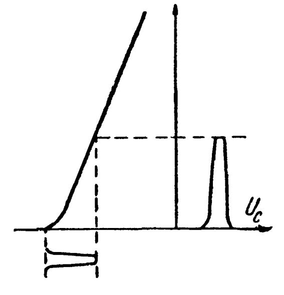


Рис. 43. Форма анодного тока при импульсе положительной полярности на сетке лампы.

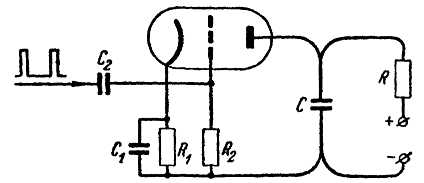


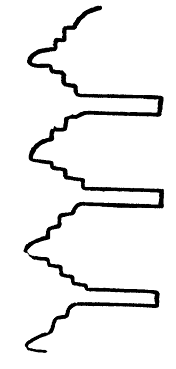
Рис. 44. Схема развертки «модель Незнайкина», где разряд конденсатора C происходит в соответствии с принципом, показанным на рис. 43.



Л. — Вовсе нет, Незнайкин. Твоя схема может работать вполне удовлетворительно при условии, что импульсы синхронизации имеют достаточную амплитуду. Так будет в случае, когда приемник расположен по соседству с передатчиком. Если же расстояние между ними будет большое, то напряжение принимаемого сигнала не будет постоянным, разряд будет происходить с различной скоростью и изображения получатся искаженными. Кроме того, при отсутствии передачи не будет развертки и неподвижное пятно разрушит соответствующее место на экране.

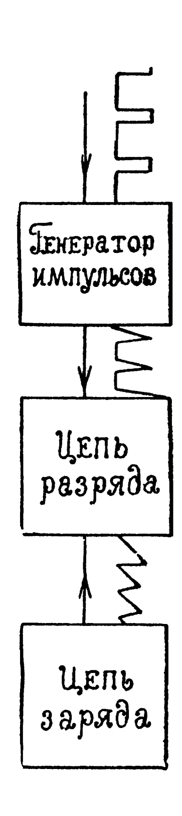
Н. — Если я правильно понял, моя идея немногого стоит?

Л. — Да нет же, Незнайкин, твоя схема вполне пригодна. Но только вместо того, чтобы вызывать разряд с помощью синхронизирующих импульсов, подаваемых непосредственно на сетку разрядной лампы, лучше использовать положительные импульсы, специально сформированные в телевизоре, с постоянной и хорошо поддающейся регулировке амплитудой, соответствующим образом синхронизированные принимаемыми импульсами.



Старая схема в новой роли

Н. — В общем ты хочешь, чтобы победили научные принципы организации труда, и четко разделяешь функции. Зарядная цепь, состоящая из сопротивления и конденсатора, выполняет свою часть работы. Лампа обслуживает цепь разряда. Некоторое таинственное устройство действует положительными импульсами на сетку, чтобы вызывать разряд. И, наконец, синхронизирующие импульсы управляют точным ритмом импульсов, полученных при помощи названного таинственного устройства.



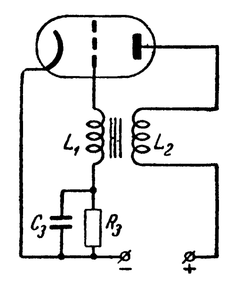
Л. — Да, дело обстоит именно так. И так как устройство, о котором идет речь (назовем его «генератором импульсов»), генерирует независимо от наличия синхроимпульсов, то даже в случае потери нескольких синхронизирующих импульсов вследствие замирания ритм развертки не будет слишком изменен. Развертка будет продолжаться даже в отсутствие передачи.

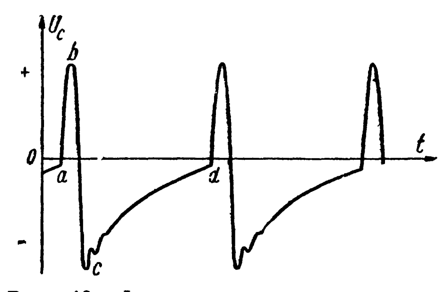
Н. — А как получить эти периодические импульсы?

Л. — Например, с помощью блокинг-генератора. Вот его схема (рис. 45).

Н. — Но, дорогой Любознайкин, что ты рисуешь? Ведь это старый знакомый! Я узнаю самый классический из генераторов с катушкой обратной связи в анодной цепи и конденсатором, шунтированным сопротивлением, — в сеточной. Ты просто-напросто поменял местами сеточную обмотку и сеточный конденсатор, но ведь это ничего не меняет, потому что они включены последовательно. Ты мне уже подробно объяснял его работу. И теперь я знаю, что он генерирует синусоидальные колебания, а вовсе не импульсы.

Л. — Это зависит от значения величин элементов. Чтобы получать импульсы, применяются конденсатор C_3 и сопротивление R_3 в цепи сетки с величинами, значительно бо́льшими, чем для генератора синусоиды. Связь между сеточной и анодной обмотками должна быть очень сильной.





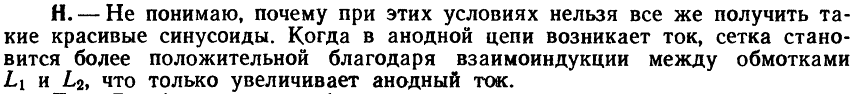
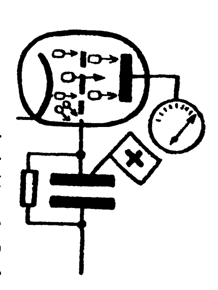


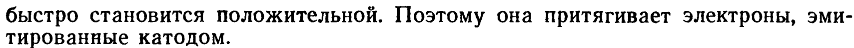
Рис. 45. Схема блокинг-генератора.

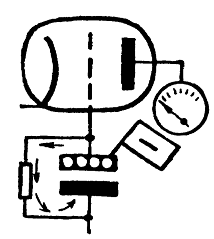
Рис. 46. Форма напряжения на сетке лампы блокинг-генератора.



Н. — Не понимаю, почему при этих условиях нельзя все же получить такие красивые синусоиды. Когда в анодной цепи возникает ток, сетка становится более положительной благодаря взаимоиндукции между обмотками L_1 и L_2, что только увеличивает анодный ток.

Л. — Я тебя прерываю, ибо твое рассуждение, верное до сих пор, рискует стать ошибочным, если ты будешь продолжать его развивать. Не забудь, что связь между обмотками L_1 и L_2 очень велика. Сетка, таким образом, очень





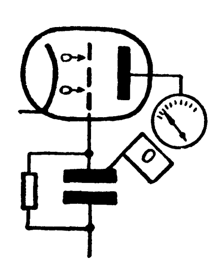
быстро становится положительной. Поэтому она притягивает электроны, эмитированные катодом.

Н. — Уж не кажется ли ей, что она стала анодом?

Л. — Весьма вероятно. Факты таковы, что электроны заряжают конденсатор C_3, емкость которого дает им идеальное убежище.

Н. — Почему они не направятся поспешно по направлению к катоду, образуя сеточный ток?

Л. — Это и происходит, но в небольшой степени из-за большой величины сопротивления R_3. Ты ведь видишь (рис. 46), что потенциал сетки после быстрого подъема (от *a* до *b* на кривой) не только перестает быть положительным, но даже падает до некоторой отрицательной величины *(c)*. Анодный ток в этот момент равен нулю (так же как и сеточный ток). Лампа оказывается блокированной (откуда и название устройства). С этого момента ничто не мешает конденсатору C_3 разряжаться через сопротивление R_3, постепенно доводя до нуля потенциал сетки (от *c* до *d* на кривой). В этот момент вновь появляется анодный ток...



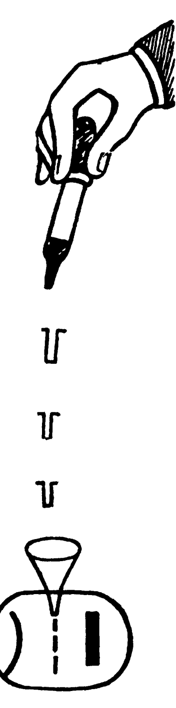
Н. — ...и все начинается сначала. В общем у нас налицо быстрый положительный скачок потенциала сетки, который образует то, что ты называешь импульсом, затем отрицательная часть, гораздо более продолжительная и совершенно бесполезная.

Л. — Вижу, что ты хорошо понял мое объяснение.

От упрощения к упрощению

Н. — А каким образом синхронизируют блокинг-генератор?

Л. — Подавая положительные синхроимпульсы на сетку, что вызывает появление импульса блокинг-генератора той же полярности. Раз уж мы заговорили о синхронизации, должен тебе сказать, что существует много способов подачи импульсов на сетку лампы блокинг-генератора (рис. 47); можно их подводить с помощью третьей обмотки, индуктивно связанной с сеточной обмоткой, или же через конденсатор непосредственно на сетку лампы, но только не в точке соединения L_1 и R_3, или же, наконец, через конденсатор C_4, соединенный с верхней точкой сопротивления R_4, включенного в сеточную цепь со стороны катода.



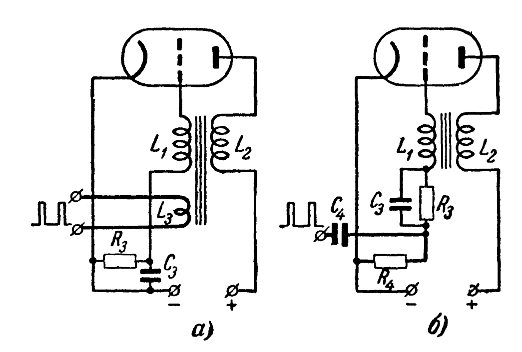


Рис. 47. Два способа подачи импульсов синхронизации.

а — трансформаторная связь; *б* — емкостная связь с сеточной цепью.

Н. — Если принять этот последний способ, то сочетание блокинг-генератора с разрядной цепью будет выглядеть, я думаю, в виде нарисованной мною схемы (рис. 48).

Л. — Твоя схема вполне правильна.

Н. — Ее, однако, нельзя считать очень простой.

Л. — Да, она и не самая простая. На практике можно заменить две лампы одной. Или же по крайней мере использовать только один баллон, содержащий два триода. Такие лампы изготовляются в целях экономии места и себестоимости.

Н. — Но ведь это не упрощает схему.

Л. — Раз ты на этом настаиваешь, можно поступить еще проще, заменив две лампы одним пентодом (рис. 49). В блокинг-генераторе используется экранирующая сетка лампы в качестве анода. Пространство катод — анод будет по-прежнему служить для разряда конденсатора *C*, вызываемого короткими положительными импульсами, периодически возникающими на сетке.

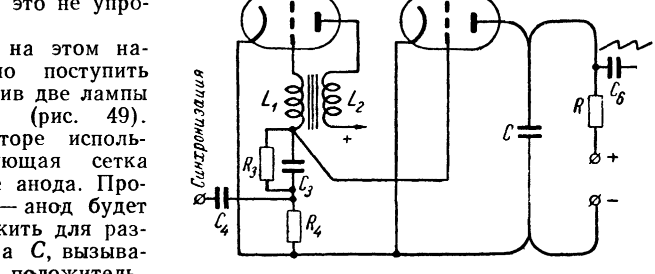


Рис. 48. Двухламповый генератор развертки с блокинг-генератором.

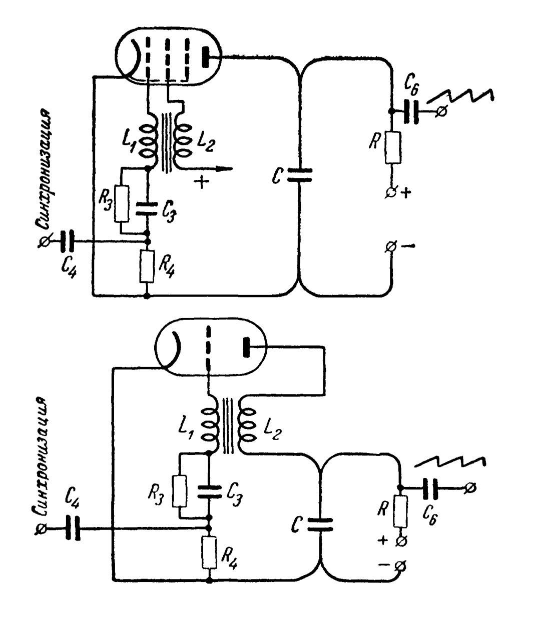


Рис. 49. Одноламповый генератор развертки с блокинг-генератором на пентоде.

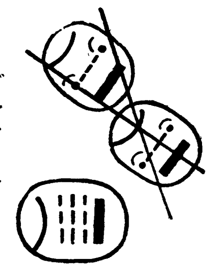
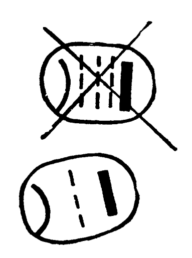


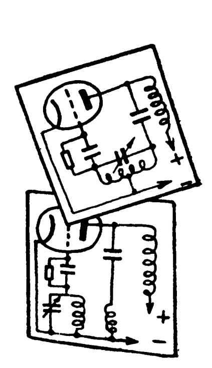
Рис. 50. Одноламповый генератор развертки с блокинг-генератором на триоде.



Н. — Если уж на то пошло, нельзя ли заменить пентод простым триодом, соединив экранирующую сетку с анодом и включив зарядную цепь последовательно с анодной обмоткой L_2?

Л. — Так часто и поступают (рис. 50). Но остановимся на этом, так как если ты будешь продолжать в том же духе, то дойдешь до формирования безупречной пилы при помощи простой лампы от карманного фонаря...

Перепутанные вход и выход



Н. — Существуют ли другие типы импульсных генераторов, кроме того, который ты описал? Ведь имеется столько различных схем генераторов синусоидальных колебаний.

Л. — Конечно, эти схемы можно было бы использовать, но они вызвали бы ненужные усложнения. Можно полностью обойтись без блокинг-трансформатора, осуществляя обратную связь с помощью второй лампы, которая изменяет полярность напряжения и дает возможность подать его на вход первой лампы в правильной полярности и тем самым поддержать колебания.

Н. — Мне это что-то не совсем ясно.

Л. — Тогда рассмотрим вопрос с другой стороны. Представь себе усилитель на двух лампах со связью через сопротивление и емкость (рис. 51). Подай его выходное напряжение на его собственный вход. Что ты получишь?

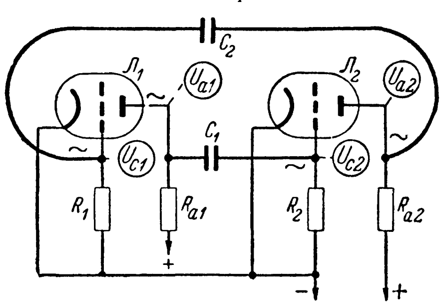
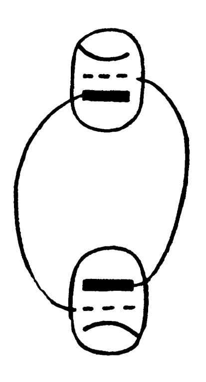


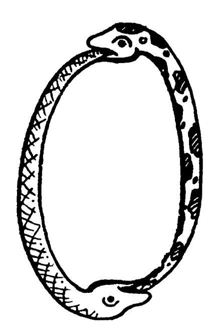
Рис. 51. Двухламповый усилитель с обратной связью между выходом и входом является мультивибратором. Маленькие синусоиды обозначают фазы напряжений.

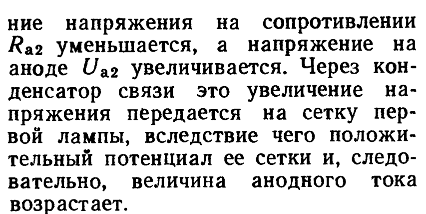
Н. — Две змеи, кусающие себя за хвосты.

Л. — Меня интересуют не зоологические аналогии, а физический анализ явлений, которые произойдут при подаче напряжения на такое устройство.



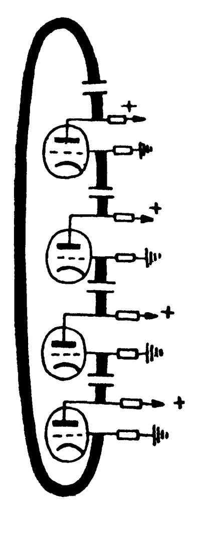
Н. — Я прибегну к таким же рассуждениям, какие ты обычно употребляешь в подобных случаях. Допустим, что в момент включения напряжения анодный ток лампы $Л_1$ возрастает. При этом падение напряжения на анодном сопротивлении R_{a1} также возрастает, а напряжение на аноде U_{a1} настолько же уменьшается. Через конденсатор связи это падение напряжения передается на сетку лампы $Л_2$, уменьшая ее потенциал U_{c2}. Так как сетка становится более отрицательной, анодный ток лампы $Л_2$ уменьшается. Следовательно, паде-





ние напряжения на сопротивлении R_{a2} уменьшается, а напряжение на аноде U_{a2} увеличивается. Через конденсатор связи это увеличение напряжения передается на сетку первой лампы, вследствие чего положительный потенциал ее сетки и, следовательно, величина анодного тока возрастает.

Л. — Ты видишь, что все эти явления происходят одновременно. Кроме того, очень важно отметить, что напряжение на выходе усилителя только усиливает явления, происходящие на его входе. Иначе говоря, полярности напряжения на выходе и входе совпадают. И это вполне естественно. Ведь в каждом каскаде происходит изменение полярности. Когда сетка становится более положительной, положительный потенциал анода падает и наоборот. Значит, при двух каскадах полярности совпадают.



Н. — Можно было бы, таким образом, применить 4, 6 или 8 каскадов?

Л. — Конечно. Но можно подумать, что ты на жалованьи у ламповых фабрикантов...

Н. — Все же я хотел бы знать, будет ли ток первой лампы бесконечно возрастать.

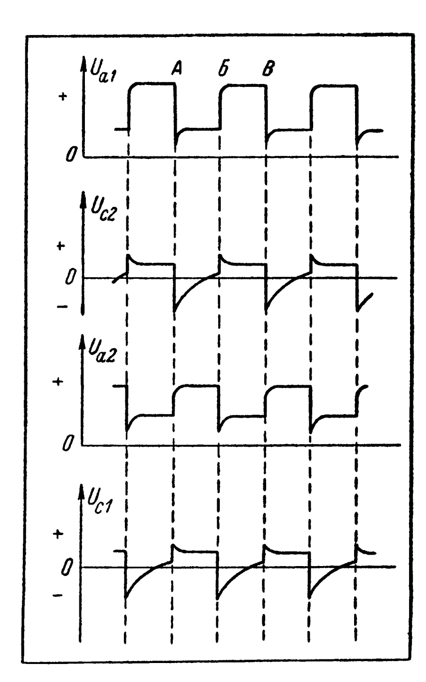
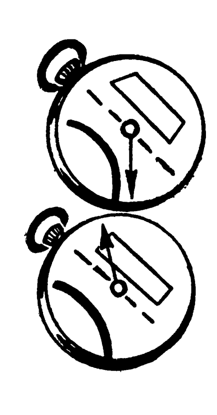


Рис. 52. График, позволяющий легко проследить одновременные изменения напряжений на различных электродах ламп мультивибратора на рис. 51.

Л. — Ну, конечно, нет, ты не рискуешь расплавить предохранители. Быстрый рост тока первой лампы, сообщая сетке второй лампы высокий отрицательный потенциал, доведет до нуля (рис. 52) ее анодный ток (момент *А* на кривых U_{a1}, U_{c1}, U_{a2}, U_{c2}). С этого момента ничто больше не будет вызывать увеличения положительного потенциала сетки лампы $Л_1$, который будет сохранять свою величину. Ток этой лампы останется значительным, а напряжение на ее аноде — малым. Что касается конденсатора C_1, заряженного отрицательно, то он будет разряжаться через сопротивление R_2 (отрезок *А* — *Б* на кривой U_{c2}).



Н. — Признаюсь, трудновато следить за таким количеством одновременно происходящих явлений.

Л. — Я тебя понимаю. Но думаю, что кривые, которые я начертил, должны облегчить тебе понимание.

Н. — Когда конденсатор C_2 будет разряжен, возникнет и будет быстро возрастать анодный ток в лампе $Л_2$.

Л. — Совершенно верно. И в это же время (точка *Б* на кривых) лампа $Л_2$ окажется в тех же условиях, что и лампа $Л_1$ в момент *А*.

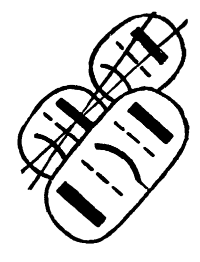
Н. — Иначе говоря, напряжение U_{a2} упадет, конденсатор связи C_2 передаст это уменьшение на сетку лампы $Л_1$, анодный ток которой начнет уменьшаться до нуля, что вызовет увеличение ее анодного напряжения и соответственно положительного потенциала сетки лампы $Л_2$.

Л. — Остановись хоть ты, Незнайкин, так как на мультивибратор нельзя рассчитывать. Генератор, названный так, вырабатывает периодические напряжения специальной формы. В обеих лампах повторяются с интервалом в один полупериод в точности одни и те же явления, как это показывает внимательное рассмотрение кривых. То одна, то другая лампа по очереди пропускает ток, затем запирается.

Н. — Однако мультивибратор не дает пилообразного напряжения.

Л. — Да, это так, на его анодах можно обнаружить скорее прямоугольные колебания. Они имеют многочисленные применения, широко используются в телевидении и еще больше в электронике вообще; длительность положительных и отрицательных полупериодов идентична, когда элементы двух каскадов

мультивибратора одинаковы по величине. Но если они отличаются друг от друга, симметрия нарушается. Таким образом, можно получить импульсы небольшой длительности, разделенные сравнительно длинными интервалами времени. Так можно получать синхронизирующие и различные управляющие импульсы.



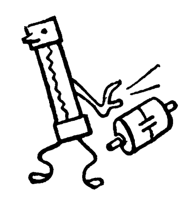
Возвращение к зубьям пилы

Н. — Как и в случае генератора развертки с блокинг-генератором, нельзя ли в мультивибраторе заменить обе лампы одним двойным триодом?

Л. — Конечно, можно. Больше того, связь между двумя каскадами, обычно выполняемую с помощью конденсатора C_1, можно заменить связью через общее сопротивление R в катодах обеих ламп (рис. 53).

Н. — Не понимаю, каким образом сопротивление может заменить конденсатор.

Л. — Однако путем рассуждений ты без труда можешь проникнуть в тайну катодной связи. Ведь увеличение анодного тока одного из триодов, тока, который, не забудь, проходит также через сопротивление R, увеличивает падение напряжения на его концах, делая более отрицательным тот, который при-



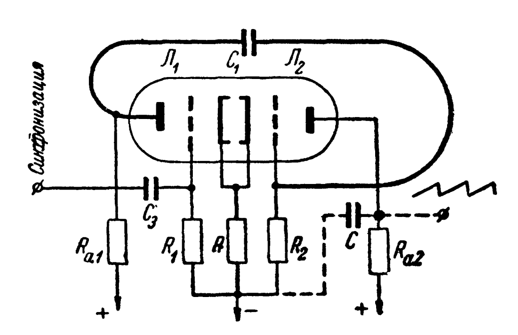
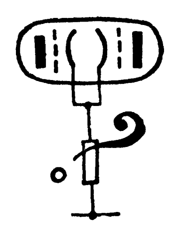


Рис. 53. Мультивибратор с катодной связью. Пунктиром показана часть схемы, позволяющая получить пилообразное напряжение.



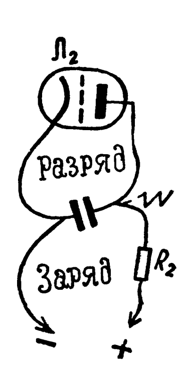
соединен к сетке другой лампы. Таким образом, ее анодный ток уменьшится. Конденсатор связи, очевидно, произведет то же действие.

Н. — Теперь я понимаю. При этом по схеме видно, что сетка триода $Л_1$ свободна и поэтому ты на нее подаешь синхронизирующие импульсы через конденсатор C_3.

Л. — Я это делаю тем охотнее, что мультивибратор очень легко синхронизируется.

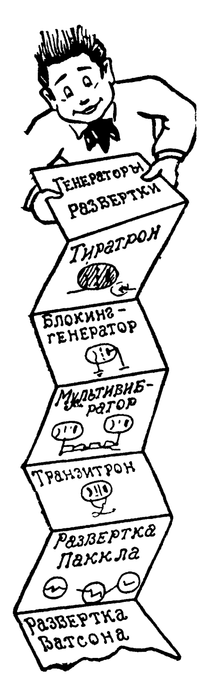
Н. — Прости, Любознайкин, но с момента, когда оказалось, что твой мультивибратор не вырабатывает пилообразного напряжения, другие его добродетели меня не трогают.

Л. — Раз ты так уж настаиваешь на пиле, она у тебя будет, Незнайкин (рис. 54). Чтобы ее получить, добавь конденсатор C (см. соединение, изображенное на рис. 53 пунктиром) между одним из анодов мультивибратора и отрицательным полюсом высокого напряжения. Кроме того, пусть величина анодного сопротивления R_{a2} этого триода будет значительно больше, чем анодного сопротивления R_{a1} другого триода. И у тебя появится на зажимах R_{a2} пилообразное напряжение.



Н. — Мне кажется, что опять начинается история с зарядом конденсатора C через сопротивление R_{a2}.

Л. — Да, такова природа этого явления. Так как сопротивление R_{a2} большое, ток вначале не проходит через триод $Л_2$. Но как только напряжение на выводах C достигает достаточной величины, возникает ток между катодом и анодом, разряжая конденсатор C. Но тут уж обрушивается целая лавина! С появлением тока триода $Л_2$ в триоде $Л_1$ возникает отрицательное смещение под действием общего катодного сопротивления R. Его анодный ток падает и



благодаря связи через конденсатор C_1 потенциал сетки триода $Л_2$ возрастает, ускоряя разряд. Когда конденсатор C разряжен таким образом, ток через триод $Л_2$ прекращается и все начинается сначала.

Н. — Ну что, теперь я уже знаю все устройства для получения пилообразных напряжений?

Л. — К величайшему моему сожалению, должен тебя разочаровать. Ведь их несметное количество. Но, познакомившись с тиратроном, блокинг-генера-

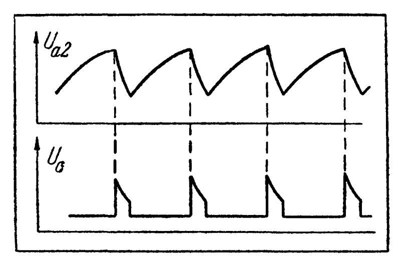
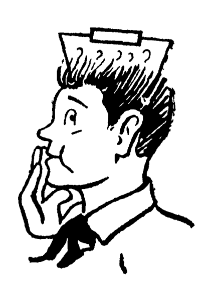


Рис. 54. Графики напряжений на правом аноде и на катоде в случае включения конденсатора C, показанного пунктиром на рис. 53.

тором и мультивибратором, ты узнал основные из них. Остальные основываются на уже рассмотренных принципах. А это значит, что для тебя не представит затруднений их изучить. Благодаря этому в следующей нашей беседе мы сможем затронуть более занимательные вопросы, чем генераторы развертки.



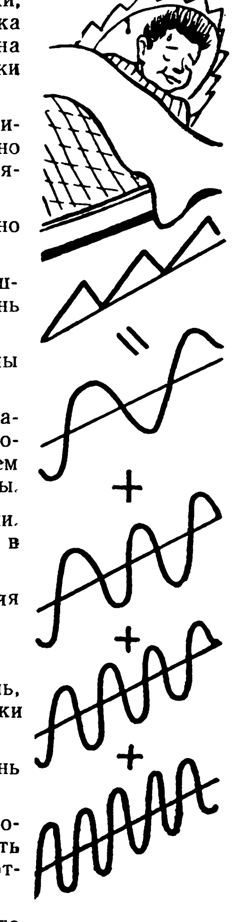
БЕСЕДА ВОСЬМАЯ

Рассмотрев основные типы разверток, приятели займутся изучением способов подачи вырабатываемых развертками колебаний на отклоняющие электроды или отклоняющие катушки. Они увидят, что в случае электростатического отклонения приходится подавать симметричные сигналы на каждую пару отклоняющих пластин. Что же касается электромагнитного отклонения, то скорость изменения токов, проходящих через обмотки, вызывает некоторые затруднения. Но все приходит к благополучному концу в этой беседе, в которой в частности, рассматриваются: усиление пилообразных напряжений; получение симметричных напряжений; изменение полярности с помощью лампы; величина отклоняющего магнитного поля; индуктивность отклоняющих катушек; нарастание и уменьшение тока; величина перенапряжений; катушки с малым индуктивным сопротивлением; согласующий трансформатор; меры предосторожности в отношении изоляции; кадровая развертка; паразитные колебания; демпфирующий диод.

ЗУБЬЯ ПИЛЫ В ДЕЙСТВИИ

Усилитель, обладающий всеми добродетелями

Незнайкин. — В последний раз, Любознайкин, когда мы с тобой расставались, ты обещал поговорить о более занимательных вещах, чем эти развертки, которые преследуют меня во сне. Я не знаю, что ты имеешь в виду. Но пока я себе не могу ясно представить, как подать пилообразные напряжения на электроды в трубках с электростатическим отклонением или же на катушки в трубках с электромагнитным отклонением.



Любознайкин. — Ты прав, Незнайкин. Располагать этими напряжениями — хорошо, но уметь ими пользоваться еще лучше. Их амплитуда обычно недостаточно велика, чтобы заставить пятно перемещаться по всему светящемуся экрану. Поэтому-то их нужно усиливать.

Н. — Вот это уж несложно, раз речь идет о напряжениях сравнительно низкой частоты.

Л. — Ты слишком скор на решения! Основная частота разверток не слишком высока. Но ввиду того что их колебания далеки от синусоиды, они очень богаты гармониками... А ты еще помнишь, что значит «гармоника»?

Н. — Конечно. Это составляющие колебания, частоты которых кратны основной частоте.

Л. — Твоя память по-прежнему тебе не изменяет. Пилообразные колебания, богатые гармониками, требуют применения усилителей, способных пропустить очень широкую полосу частот, иначе мы можем ослабить или совсем исключить гармоники высшего порядка, деформируя таким путем зубья пилы.

Н. — Если я правильно понял, усилитель, который срежет все гармоники, оставив только основную частоту, по всей вероятности, преобразует пилу в синусоиду?

Л. — Именно так. Но ты берешь крайний случай. Чаще всего, ослабляя верхние гармоники, усилитель слегка закругляет зубья.

Н. — Получается изношенная пила!

Л. — С другой стороны, я тебе напоминаю, часто применяют усилитель, умышленно искажающий форму зубьев пилы так, чтобы превратить отрезки экспоненциальных кривых в прямые линии.

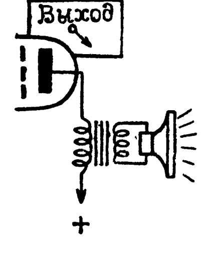
Н. — Я вижу, что поспешил, утверждая, что усилитель развертки — очень простое устройство.

Л. — Он действительно прост. Но задачи, которые он выполняет, многообразны. Он должен усиливать, в том числе и верхние гармоники, выпрямлять искривленные зубья. И это еще не все! Ведь в случае электромагнитного отклонения он должен еще и отдавать мощность...

Н. — ...как самый обычный выходной каскад радиоприемника, питающего громкоговоритель. К счастью, в случае электростатического отклонения задача гораздо проще; усилитель должен всего навсего давать напряжение без тока, а следовательно, практически и мощности.

Вкривь и вкось

Л. — Да, речь идет об усилителе напряжения. Но и в этом случае задача не становится проще, так как нужно подавать на отклоняющие электроды, образующие пару, напряжения противоположных полярностей; в то время, как потенциал одного электрода увеличивается (рис. 55), потенциал второго должен уменьшаться, затем оба одновременно должны резко вернуться к своим начальным значениям и все должно начинаться сначала.



Н. — В общем, в то время как правый электрод толкает пятно вкривь, левый тянет его вкось и, таким образом, их напряжения дружески сотрудничают... Но в таком случае, чтобы получить эти напряжения, вероятно, нужно использовать для каждой пары электродов сочетание двух синхронизированных разверток, дающих идентичные напряжения, но противоположных полярностей? Какое усложнение!

Л. — Успокойся, Незнайкин, одной развертки вполне достаточно, чтобы получить оба напряжения противоположных полярностей. Задача эта не новая. Вспомни-ка, мы ее уже решили, рассматривая двухтактные усилители. Там ведь тоже речь шла о подаче на сетки обеих ламп двухтактного каскада одинаковых напряжений, но противоположных полярностей.



Рис. 55. Форма напряжений на отклоняющих электродах при двухтактном питании.

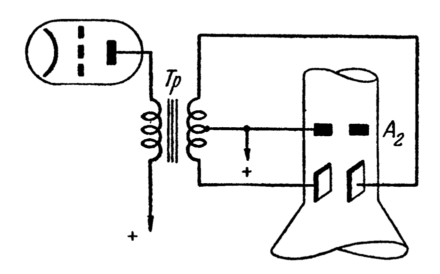
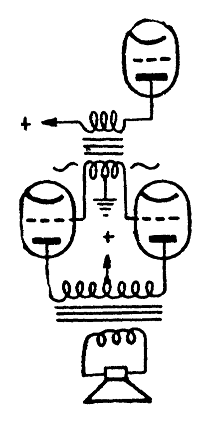


Рис. 56. Редко применяемая схема трансформаторной связи между усилительной лампой и отклоняющими пластинами. Второй анод (A_2) соединен с источником высокого напряжения.

Н. — В самом деле. И мы нашли простое решение в виде междулампового трансформатора, вторичная обмотка которого имеет отвод от средней точки.

Л. — Это годится для трубки с электростатическим отклонением. Первичная обмотка трансформатора (рис. 56) включается в анодную цепь лампы, усиливающей напряжения. Оба конца вторичной обмотки, на которых возникают напряжения противоположных полярностей, присоединяются к двум



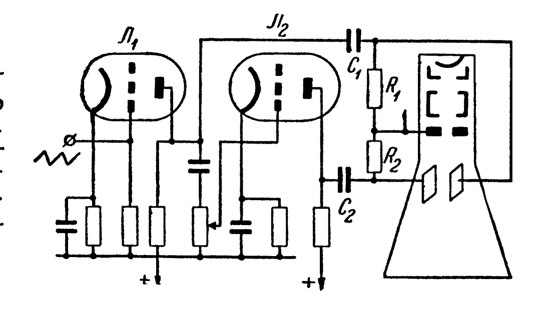


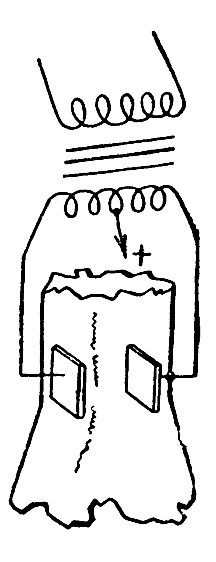
Рис. 57. Схема двухтактного питания отклоняющих пластин. Лампа $Л_1$ служит для усиления, а лампа $Л_2$ — для изменения полярности напряжения.

пластинам той же отклоняющей пары. Отвод же от средней точки нужно соединить с последним анодом таким образом, чтобы не создавать разности потенциалов между ним и отклоняющими пластинами.

Н. — Можно ли для трубок использовать схему изменения полярности при помощи лампы?

Л. — Само собой разумеется. Вот обычная схема (рис. 57), где первая лампа является усилителем, тогда как вторая служит только для изменения

полярности напряжения[1]. На одну из отклоняющих пластин мы подаем усиленное напряжение непосредственно с анода первой лампы. Напряжение противоположной полярности с выхода второй лампы подается на другую отклоняющую пластину. Чтобы напряжение на выходе второй лампы не оказалось выше напряжения на выходе первой, входное напряжение второй лампы уменьшается с помощью потенциометра. Через конденсаторы C_1 и C_2 на отклоняющие пластины поступают одни только переменные составляющие пилообразных напряжений. Средний же потенциал этих электродов равен потенциалу последнего анода трубки, поскольку обе пластины присоединены к нему через сопротивления R_1 и R_2.



Незнайкину все кажется легким

Н. — Все это мне кажется не очень страшным. Когда хорошо знаком с радио, телевидение не готовит особых сюрпризов.

Л. — Это мы еще увидим, рассматривая схемы электромагнитного отклонения. В этом случае усилительная лампа должна отдавать некоторое количество энергии. Созданное магнитное поле зависит как от количества витков, так и от величины тока, который через них проходит.

Н. — Знаю, Любознайкин. И я был очень доволен, когда узнал, что на практике интенсивность магнитного потока выражается произведением величины тока на число витков. Я уж лучше буду говорить об ампер-витках (*ав*), чем об единицах измерения, которые называются гаусс, эрстед и которые мне ничего не говорят.

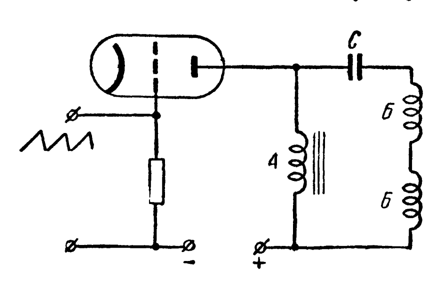


Рис. 58. Схема усилителя с индуктивной нагрузкой для питания катушек магнитного отклонения *L*. Используется преимущественно для вертикального отклонения.

Л. — Ты поэтому знаешь, что катушка из 1 000 витков, через которую проходит ток 0,12 *а*,...

Н. — ...создает поле 0,12 · 1 000 = = 120 *ав*.



Л. — Такое же поле можно, впрочем, получить при катушке из 200 витков...

Н. — ...и при токе 0,6 *а*. Но соответствуют ли эти цифры чему-нибудь в области телевидения?

Л. — Да, это порядок величины поля, необходимого для получения развертки в трубке с углом отклонения луча порядка 70°.

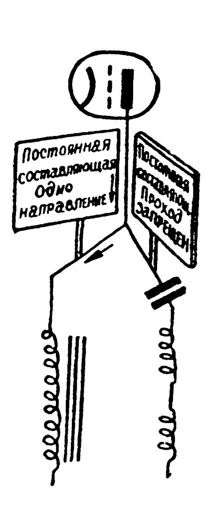
Н. — Если я правильно понимаю, необходимо изменение магнитного поля от 0 до 120 *ав*, для того чтобы пятно переместилось вдоль всего диаметра экрана.

Л. — Чтобы заставить пятно пройти желаемый путь, ток, протекающий через катушку из 1 000 витков, должен равномерно увеличиваться до 0,12 *а*, затем очень быстро упасть до нуля и т. д.

Н. — Это не должно быть очень трудным. Нужно только взять достаточно мощную лампу. Тогда включают отклоняющие катушки в ее анодную цепь...

Л. — ...и постоянная составляющая анодного тока создаст такое постоянное поле, что пятно отклонится за пределы экрана...

Н. — Это пустяки. Можно, например, обеспечить связь между лампой и двумя отклоняющими катушками *Б* при помощи катушки индуктивности *А* и конденсатора *С*, который не пропустит постоянной составляющей через катушки (рис. 58).

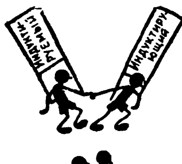


Л. — Прекрасно, Незнайкин. А что ты будешь делать с током самоиндукции в катушке?

Н. — Я что-то не очень ясно представляю себе, что ему тут делать.

---

[1] Такую лампу часто называют фазоинверсной, что совершенно неправильно, так как лампа меняет полярность, а не фазу. Ошибка эта основана на том, что при синусоидальном колебании сдвиг по фазе на 180° невозможно отличить от изменения полярности напряжения вследствие полной симметрии синусоидального колебания. В случае же асимметричного колебания, каким является видеосигнал, эти две операции проводят к совершенно различным результатам. При сдвиге видеосигнала по фазе синхроимпульс, например, не меняет своего направления по оси напряжений, но смещается во времени, при изменении же полярности видеосигнала синхроимпульс меняет направление, но время его возникновения остается прежним. *Прим. ред.*

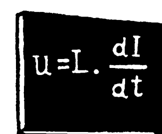


Рассуждения об индуктивности

Л. — Катушки, состоящие в среднем из 1 000 витков, обладают индуктивностью, которую можно исчислять приблизительно в 0,15 *гн*. Быстрые изменения тока вызовут в них токи самоиндукции.



Н. — Да, правда, я припоминаю нашу старую формулу: «индуктивность вызывает противодействие». Когда ток в обмотке изменяется, взаимоиндукция порождает наведенный ток, который противодействует изменениям индуктирующего тока. Когда последний увеличивается, наведенный ток идет в противоположном направлении. Но когда индуктирующий ток уменьшается, наведенный ток делает все от него зависящее, чтобы его поддержать, и для этого идет в том же направлении.

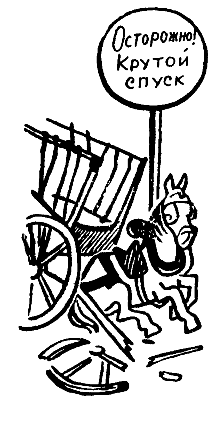


Л. — Твоя превосходная память чрезвычайно облегчает мне задачу. Добавлю, что индуктированный ток возбуждает напряжение на зажимах обмотки. Ты легко догадаешься, от чего зависит величина этого напряжения.

Н. — Я полагаю, что она пропорциональна индуктивности L обмотки.

Л. — И ты не ошибаешься. Но она зависит также от другого: от скорости изменения тока или, что, собственно говоря, одно и то же, от времени dt, в течение которого ток изменился на величину dI.

Н. — Ясно. Если ток изменяется очень медленно, это все равно, как если бы он был постоянным, но зато чем быстрее изменения, тем сильнее сказывается индуктивность. Ты как-то совершенно правильно сравнил индуктивность с инерцией. Если лошадь, запряженная в тяжелую повозку, движется вперед и назад очень медленно, все будет в порядке. Но если лошадке вздумается поразвлечься и совершить свою прогулку ускоренным шагом, то в тот момент, когда она быстро дернет вперед повозку, та ее потянет назад. А когда лошадь попытается сдержать повозку, влекомую движением, повозка толкнет лошадь вперед. И толчок может оказаться очень сильным. В конце концов или лошадь погибнет, или же повозка окажется разбитой.

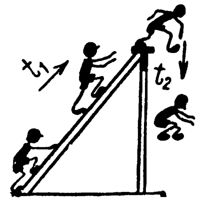


В дебрях арифметики

Л. — Если ты ничего не имеешь против, вернемся к нашим обмоткам. Полагая, что зубья пилы тока, который через них проходит, будут совершенно линейными, можно сказать, что напряжение, возникающее благодаря индуктивности, тем больше, чем меньше продолжительность времени t изменения тока I.

Н. — Я бы не сказал, что очень люблю формулы. Но думаю, что, обозначив через u напряжение, вызываемое индуктивностью на зажимах обмотки, я могу сказать, что

$$u = \frac{LI}{t}.$$



Л. — Браво, Незнайкин. Твоя формула совершенно правильна. Значит, ты можешь высчитать напряжение для индуктивности $L = 0{,}15$ *гн* и тока $I = 0{,}12$ *а*.

Н. — Но чему равно время t ? Мне кажется, что все же надо различать два случая: случай сравнительно длительного возрастания тока и случай его быстрого уменьшения (рис. 59).

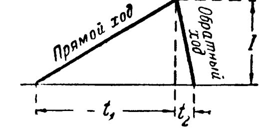
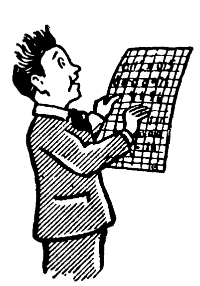


Рис. 59. Период отклоняющего тока, состоящий из времени t_1 прямого хода и значительно более короткого интервала времени t_2 обратного хода.



Л. — Это верно. Возьмем же случай отклонения по строкам. Для 25 кадров в секунду и 625 строк мы имеем 15 625 зубьев пилы в секунду. Это значит, что каждая строка длится только 0,000064 *сек*, или 64 *мксек*, причем время прямого хода пятна (возрастание тока) равно 53 *мксек*, а время обратного хода — 11 *мксек*. Вот у тебя все цифровые данные. Постарайся не ошибиться.

Н. — Напряжение, возникающее во время прямого хода,

$$u_1 = \frac{IL}{t_1} = \frac{0{,}12 \cdot 0{,}15}{0{,}000053} \approx 340 \text{ в},$$

а напряжение, возникающее во время обратного хода,

$$u_2 = \frac{IL}{t_2} = \frac{0{,}12 \cdot 0{,}15}{0{,}000011} = 1\,640 \text{ в}.$$

Но ведь это потрясающе!

Л. — Самое потрясающее не перенапряжение, а то, что ты не ошибся в расчетах.

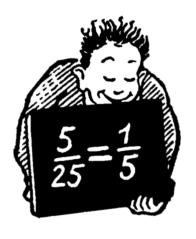
Н. — Я думаю, что ты прав, называя это «перенапряжением». Никогда бы не поверил, что сравнительно небольшие, хотя и быстрые изменения токов могут вызвать напряжения такого порядка.

Л. — Это еще ничего. Ведь для трубок большего диаметра нужно использовать значительно бо́льшие токи. И тогда перенапряжения достигают нескольких тысяч вольт. Даже в нашем случае они в действительности гораздо больше, так как действительной форме зубьев пилы соответствуют гораздо более быстрые изменения тока, чем в принятом нами предположении линейности обратного хода.

Н. — А разве это не опасно?

Л. — Перенапряжения, возникающие из-за резких изменений тока в индуктивных цепях, представляют одну из самых больших опасностей в электротехнике! Много катастроф происходит в результате этого явления. В нашем случае отклоняющие обмотки находятся по меньшей мере в сложном положении. Их весьма ограниченные габариты не позволяют использовать для намотки провода с достаточно толстой изоляцией. Приходится довольствоваться сравнительно слабой изоляцией, которая может не выдержать перенапряжений и, в случае пробоя, вызвать прекрасный фейерверк.





У Незнайкина прекрасная идея



Н. — Вот так печальная перспектива! Нельзя ли помочь делу, уменьшая количество витков обмотки, с тем чтобы повысить настолько же величину тока с целью сохранения числа ампер-витков?

Л. — Конечно, это можно было бы сделать. Но какое это даст преимущество?

Н. — Если уменьшить, например, в 5 раз количество витков, то индуктивность уменьшится в 25 раз. Таким образом, несмотря на то, что ток нужно увеличить в 5 раз, перенапряжение уменьшится в конце концов тоже в 5 раз.

Л. — Прекрасно придумано, Незнайкин. Решительно, сегодня ты в чудесной форме!

Н. — Однако я предвижу и трудности. Уменьшив в 5 раз количество витков, мы должны увеличить в том же соотношении величину тока. И это даст нам $0{,}12 \cdot 5 = 0{,}6$ *а*. Придется прибегнуть бог знает к какой лампе, чтобы получить подобный ток в анодной цепи.

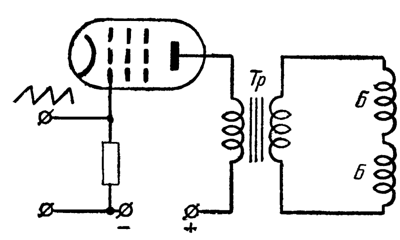
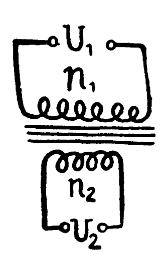


Рис. 60. Схема трансформаторной связи между лампой усилителя и отклоняющими катушками *Б*.

Л. — Для этого существует более простой способ. Так как у нас теперь в 5 раз меньше витков и индуктивность упала в 25 раз, мы получим в 5 раз больший ток, подавая на обмотки напряжение, тоже в 5 раз меньшее.



Н. — Подожди, Любознайкин, у меня начинается путаница в голове.

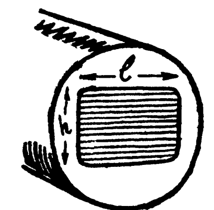
Л. — Подумай сам, Незнайкин. Индуктивное сопротивление обмотки уменьшается в 25 раз. Следовательно, при том же напряжении на ее зажимах ток будет в 25 раз больше. Это слишком много. Уменьши напряжение в 5 раз и получишь желаемый ток.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Н. — Теперь я понял. Но как же снизить напряжение?

Л. — Разве ты никогда не слышал о том, что называют трансформатором?

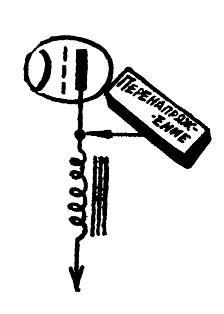
Н. — Прости, но я не подумал об этом старом знакомом. Очевидно, понижающий трансформатор даст идеальное решение (рис. 60). Таким образом,



на вторичной обмотке получится напряжение во столько раз меньшее, во сколько раз увеличится ток.

Л. — Связь через трансформатор используется для отклонения как по строкам, так и по кадрам. Правда, в кадровой развертке применяется в качестве нагрузки также и индуктивность. Иногда даже заменяют катушку индуктивности *A* (рис. 58) простым сопротивлением.

Другие неприятные следствия перенапряжения



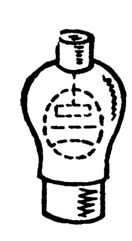
Н. — А разве при вертикальном отклонении не приходится опасаться перенапряжений?

Л. — В значительно меньшей степени по двум соображениям. С одной стороны, необходимое изменение магнитного поля несколько меньше, чем для строчного отклонения, так как размер изображения в ширину больше, чем в высоту. Таким образом, путь, проходимый пятном в вертикальном направлении, короче его горизонтального перемещения.

Н. — Ну, разница тут невелика.

Л. — Да, конечно. Таким образом, с другой стороны, главной причиной гораздо меньших перенапряжений является значительно меньшая скорость изменения тока. В то время как на горизонтальной развертке должно быть 625 зубьев пилы, на развертке кадров их будет только 2. Это показывает, что вертикальное отклонение не требует особых предосторожностей. Но перенапряжения в процессе горизонтального отклонения усложняют все, включая и работу усилителя.

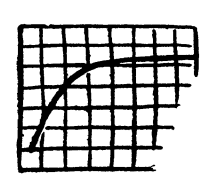
Н. — Я не вижу, в чем тут дело.



Л. — Разве тебе не ясно, что перенапряжения суммируются с анодным напряжением. И это независимо от схемы выхода. В случае связи через индуктивность (рис. 58) перенапряжения проходят через конденсатор *C*. В случае же трансформаторной схемы (рис. 60) они образуются на первичной его обмотке. Ясен теперь тебе смысл этого?

Н. — В то время как ток возрастает, т. е. во время прямого хода пятна, ток самоиндукции идет в направлении, обратном направлению анодного тока, и препятствует его увеличению. Следовательно, приток электронов на анод настолько же уменьшает его положительное напряжение. В нашем примере перенапряжение было равно 340 *в*. Таким образом, чтобы на аноде оставалось соответствующее напряжение, скажем 100 *в*, нужно, чтобы напряжение питания было по крайней мере 440 *в*.

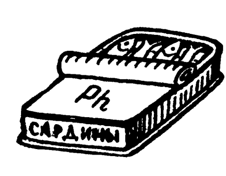
Л. — Все эти рассуждения вполне правильны. Рассмотрим теперь процессы во время обратного хода пятна.



Н. — При этом получается резкое уменьшение анодного тока. Чтобы воспрепятствовать этому, самоиндукция вызывает значительный ток в том же направлении, который уносит электроны с анода, делая его таким путем более положительным. Перенапряжение, появляющееся при обратном ходе, добавляется к анодному напряжению. В нашем случае 1 640 *в* перенапряжения вместе с 440 *в* питания дадут на аноде 2 080 *в*.

Л. — Такое высокое напряжение между анодом и катодом вызывает необходимость применения лампы с хорошо изолированным анодом. В связи с этим используются предпочтительно лампы, имеющие вывод анода на самой колбе.

Н. — Я спрашиваю себя, как работает усилитель при столь значительных изменениях анодного напряжения. Есть из-за чего потрепать нервы самой солидной лампе...

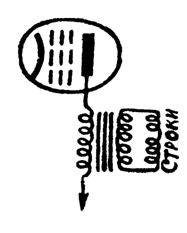


Л. — Практически искажения, являющиеся их следствием, не очень значительны, если используются лампы, анодный ток которых мало зависит от анодного напряжения.

Н. — То есть лампы с высоким внутренним сопротивлением, так как оно по определению является отношением изменения анодного напряжения к соответствующему изменению анодного тока.

Л. — Ты меня сегодня все время поражаешь, Незнайкин. Скажи, что ты съел за завтраком?

Н. — Целую коробку сардин.



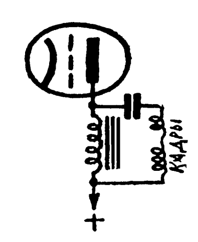
Л. — Все ясно: это фосфор так повлиял!.. Ну, что же, раз твой мозг заряжен до отказа, можешь ты мне сказать, какие лампы имеют большое внутреннее сопротивление?

Н. — Да пентоды же, дружище! В заключение, если только я правильно понял, для отклонения по строкам применяют пентодный усилитель, присоединенный к отклоняющим катушкам через понижающий трансформатор; все должно быть хорошо изолировано из-за этих несносных перенапряжений.

Л. — Не говори о них слишком плохо. Ты дальше увидишь, что и их удается использовать весьма остроумным способом, чтобы получить очень высокое напряжение, питающее последний анод трубки.

Н. — Как, и порок можно превратить в добродетель!..

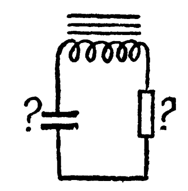
Л. — Так как перенапряжения, о которых идет речь, гораздо менее опасны при отклонении по кадрам, в этом случае вполне достаточно простого триода с индуктивным или активным нагрузочным сопротивлением, однако же ничто не мешает использовать и пентод.



Затухающие колебания

Н. — Не знаю, может быть я скажу глупость, но кое-что меня удивляет. Это то, что в цепи с такой индуктивностью ток может изменяться так быстро, как это происходит в случае обратного хода по строкам.

Л. — Это вполне естественный вопрос. Ты ведь знаешь, что приходится расплачиваться за это резкое изменение значительным перенапряжением, являющимся его результатом. И мы создаем возможность для быстрого изменения тока, так составляя контур, чтобы он имел очень малое затухание. В действительности это настоящий колебательный контур с собственной индуктивностью, емкостью и сопротивлением.



Н. — Однако я не вижу ни конденсатора, ни сопротивления.

Л. — Нет никакой необходимости изображать их на схеме, эти невидимые элементы от этого не исчезнут. Да разве можно, в самом деле, представить себе обмотку, лишенную сопротивления и распределенной емкости?

Н. — Прошу прощения, я признаю, что как отклоняющие обмотки, так и обмотки трансформатора имеют и сопротивление и распределенную емкость.

Л. — Если сопротивление не слишком велико, получается настоящий колебательный контур. Быстрый переход электронов при обратном движении пятна чрезвычайно облегчается, так как он будет происходить как часть колебаний контура.

Н. — Вот это хорошо! А колебание сейчас же прекратится?

Л. — Увы, нет! В этом-то и заключается обратная сторона медали. Когда привели в движение электроны в колебательном контуре, они останавливаются только после нескольких колебаний, все более и более слабых, как маятник после толчка (рис. 61).



Н. — Но что из этого практически вытекает?

Л. — Ничего хорошего. Зуб пилы обогатится маленькой затухающей паразитной синусоидой, которая по окончании обратного хода будет мешать началу прямого хода. Вместо того чтобы начать движение от левого края изображения с постоянной скоростью, пятно начнет нечто вроде вальса (три шага направо, два — налево, полтора шага направо, один — налево и т. д.), после чего только продолжит равномерное движение вправо. Эти небольшие перемещения туда и обратно создают на изображении очень неприятные вертикальные полосы.

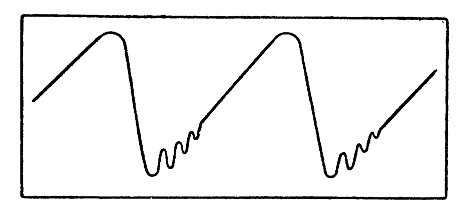
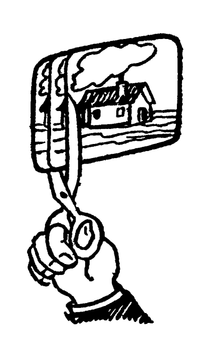


Рис. 61. Паразитные колебания, приводящие к искажению отклоняющего тока.

Н. — И какое же лекарство существует против таких паразитных колебаний, которые, по-моему, похожи на самовозбуждение?

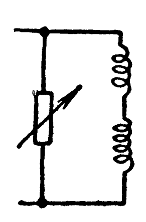


Л. — Как и в радио, введение затухания! То есть поглощение достаточного количества энергии, чтобы в контуре, остающемся на грани колебательного состояния, не могли поддерживаться паразитные колебания.

Н. — И я полагаю, что это поглощение энергии будет поручено сопротивлению, включенному параллельно отклоняющим катушкам.

Л. — Это, действительно, самый простой и дешевый способ. Постепенно уменьшая величину такого сопротивления, через него пропускают все более и более значительный ток. Таким образом, определяется величина, как раз достаточная для создания необходимого затухания контура и гашения паразитных колебаний.

Н. — Жаль, что сопротивление поглощает энергию в течение всего периода. Было бы замечательно иметь быстродействующий переключатель, который включал бы сопротивление в нужный момент для гашения паразитных колебаний и в то же время отключал бы его во время обратного хода пятна с целью уменьшения затухания контура и улучшения обратного хода.

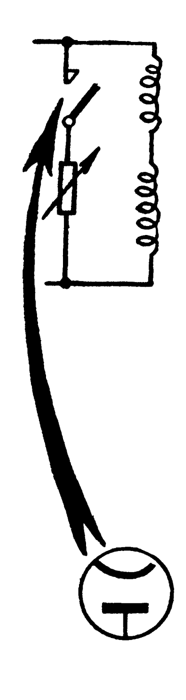


Л. — Ничего нет легче этого, Незнайкин. Добавь к шунтирующему сопротивлению диод, включенный в нужном направлении, т. е. так, чтобы он про-

пускал ток во время отрицательных, а не положительных полупериодов (рис. 62). При этом затухание будет увеличиваться в конце обратного и начале прямого хода, т. е. во время «опасной» фазы функционирования.

Н. — Это действительно чрезвычайно остроумно придумано, этот демпфирующий диод. Но для чего же служит конденсатор *С*, присоединенный параллельно сопротивлению, которое ты включил последовательно с диодом?

Л. — Конденсатор, разряжаясь через сопротивление, поддерживает небольшое отрицательное смещение на аноде диода, и диод пропускает ток только тогда, когда напряжение на обмотке превышает величину этого смещения. Благодаря этой искусственной задержке контур дольше остается колебательным. Поэтому отрицательный полупериод колебания во время обратного хода увеличивается, что обеспечивает большую амплитуду развертки.



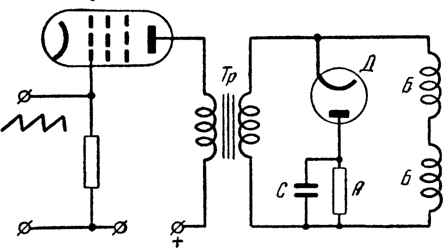


Рис. 62. Схема включения диода *Д* последовательно с сопротивлением *R* для внесения в колебательный контур затухания в нужный момент с целью гашения паразитных колебаний.

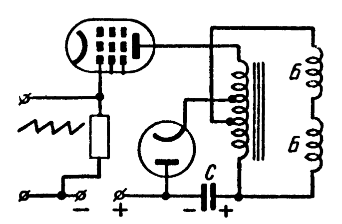


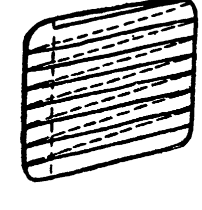
Рис. 63. Схема выходного каскада строчной развертки с регенерацией мощности. Вместо выходного трансформатора использован более дешевый автотрансформатор, обеспечивающий к тому же больший коэффициент связи.

Таким образом, находящаяся в нашем распоряжении энергия используется с более высоким к. п. д.

Н. — Должен сознаться, что эта схема все же меня полностью не удовлетворяет.

Л. — Почему же?

Н. — Неужели нельзя было избежать бесполезной траты мощности в сопротивлении *R*?



Л. — Ты поторопился и предвосхитил мои объяснения. Во всех современных телевизорах напряжение на конденсаторе *С* используют для увеличения анодного напряжения выходной лампы (рис. 63). При этом в качестве сопротивления *R* служит сама выходная лампа. Поэтому в схеме происходит как бы регенерация мощности, так как часть мощности, бесполезно рассеивавшаяся раньше на сопротивлении *R*, используется в схеме. Амплитуда отклонения при этом значительно увеличивается, а к. п. д. выходной лампы резко повышается.

Н. — Зато я чувствую, что к. п. д. моего мозга начинает падать, так он задемпфирован всеми понятиями, которые ему пришлось сегодня поглотить, причем не оказывая ни малейшего сопротивления.



БЕСЕДА ДЕВЯТАЯ

Временно оставив в покое вопрос приема, Любознайкин и Незнайкин рассмотрят метод, при помощи которого в процессе передачи производится преобразование изображения в видеосигналы. Существует множество типов телевизионных камер, применяемых для этой цели. Вместо того, чтобы хвастать своей эрудицией, перечисляя их все, Любознайкин рассмотрит только наиболее типичные современные камеры. Попутно он затронет следующие вопросы: время освещения фотоэлемента; методы непрерывного и прерывистого освещения; накопление зарядов; иконоскоп; светочувствительная мозаика; электронный коммутатор; вторичная эмиссия; супериконоскоп; суперортикон; электронный умножитель; передача при инфракрасном освещении.

НА ПЕРЕДАЮЩЕМ КОНЦЕ

В царстве микросекунд



Незнайкин. — Могу я сделать тебе одно признание, Любознайкин?

Любознайкин. — Не стесняйся, дружище.

Н. — Знаешь, я сыт по горло и развертывающими устройствами и всеми вопросами отклонения. Не считаешь ли ты возможным переменить тему беседы?

Л. — У меня тоже было такое намерение. Мы расчищали место, чтобы иметь возможность подойти вплотную к основным вопросам телевидения. Однако нужно было объяснить тебе, каким образом производится развертка изображений как при передаче, так и при приеме.

Н. — Я надеюсь все же, что мы сможем заняться теперь изучением приемников, ведь я тороплюсь смонтировать телевизор для собственного употребления. Я даже купил часть материалов — 10 *м* провода для монтажа.

Л. — Боюсь, как бы все остальное не стоило тебе гораздо дороже... Не лучше ли, прежде чем бросаться очертя голову на прием, кратко рассмотреть, что происходит со стороны передатчика?

Н. — Знаю, я уже читал об этом в одном журнале. Телевизионные студии освещаются такими мощными прожекторами, что актеры получают солнечные удары, а кожа у них шелушится.

Л. — Твой журнал устарел. Это было верно для телевизионных передач на начальной стадии телевидения. Современные телевизионные камеры так же чувствительны, как и человеческий глаз, и не нуждаются в столь интенсивном освещении студии.



Н. — Разве удалось настолько повысить чувствительность фотоэлементов?

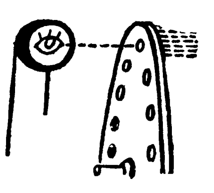
Л. — По правде сказать, в этой области нельзя похвастать большими достижениями. Но научились лучше использовать существующие фотоэлементы. Вместо того чтобы освещать их только на мгновение...

Н. — Как это?

Л. — Разве ты не помнишь, что существует механический способ передачи? Я тебе о нем рассказывал во время нашей второй беседы. В этом случае фотоэлемент получает каждое мгновение только свет, идущий от одного элемента изображения, через отверстие диска, проходящее перед фотоэлементом. Таким образом, если бы можно было при помощи этого способа осуществить разложение на 625 строк, то световой поток от каждого элемента изображения использовался бы за каждый период кадровой развертки примерно лишь в течение 0,065 *мксек.*

Н. — Да, вот это поистине не так уж много. При 25 изображениях, развертываемых в секунду, это составляет только 1,6 *мксек* использования света от каждого элемента в течение 1 *сек.*

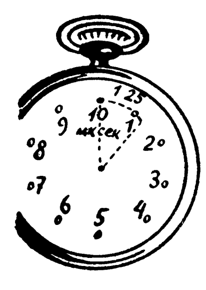
Л. — Значит, ты хорошо себе представляешь, что теоретически система, дающая возможность использовать свет непрерывно, должна быть во столько раз чувствительнее, сколько раз 1,6 *мксек* содержится в 1 *сек.*



Н. — Если ты надеешься заставить меня ошибиться, то ты просчитаешься. Если одну секунду, а это миллион микросекунд, разделить на 1,6, то получится 625 000 раз.

Л. — В действительности такого высокого выигрыша не получают. Однако увеличение чувствительности бывает порядка 100 000 раз.

Н. — В наше время и таким увеличением чувствительности нельзя пренебрегать. Но как же добиваются постоянного освещения фотоэлемента каждым элементом изображения?

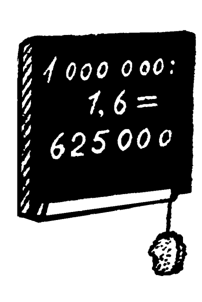


Один среди миллионов

Л. — Но ведь используется вовсе не один фотоэлемент, Незнайкин, а миллионы! И каждый из элементов изображения освещает целую группу фотоэлементов.

Н. — Ты что, издеваешься надо мной?

Л. — Нисколько. Ты сейчас увидишь, что я ничуть не преувеличиваю и что миллионы фотоэлементов не занимают много места. Но прежде чем взять такое количество, возьмем лишь один (рис. 64) и рассмотрим принцип его работы. Его светочувствительный катод освещается непрерывно. В соответствии с освещенностью катод излучает более или менее значительное количе-



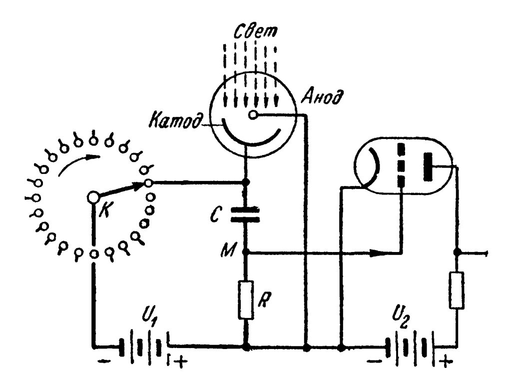


Рис. 64. Схема, иллюстрирующая метод передачи изменений яркости одного из элементов изображения.

ство электронов, которые притягиваются анодом, имеющим положительный потенциал. Поэтому верхняя обкладка конденсатора *C* оказывается заряженной...



Н. — ...более или менее положительно, раз катод потерял электроны, заряженные отрицательно.

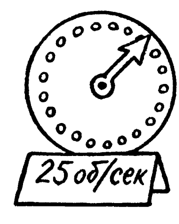
Л. — Переключатель *K*, вращающийся 25 раз в секунду, на очень короткий промежуток времени подключает катод к отрицательному полюсу высокого напряжения. Что при этом произойдет?

Н. — Я догадываюсь, что источник высокого напряжения U_1 даст тогда ток для пополнения верхней обкладки конденсатора *C* электронами, которых ей не хватает.



Л. — Верно. Вследствие этого появится электронный ток, который, направляясь от отрицательного полюса источника напряжения через переключатель *K*, достигнет конденсатора *C*, нейтрализует положительный заряд его верхней обкладки и, таким образом, удалит из нижней обкладки лишние электроны, притянутые туда положительным зарядом другой обкладки. Эти электроны пройдут через сопротивление *R* к положительному полюсу источника высокого напряжения.

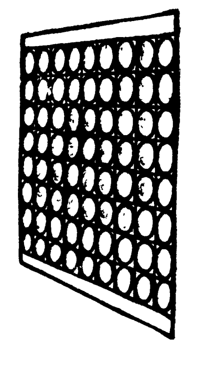
Н. — Я прекрасно представляю себе дальнейший ход твоих рассуждений. Величина тока зависит соответственно от освещенности фотоэлемента. Ток создает падение напряжения на сопротивлении *R*; присоединяя его конец *M* к сетке усилительной лампы, мы можем усилить напряжения, пропорциональные освещенности. Но разве эта сетка не имеет высокого положительного потенциала?



Л. — Имеет по отношению к источнику U_1, использованному для фотоэлемента. Но не имеет относительно источника U_2, который как раз и служит для питания усилителя. Катод и сетка лампы присоединены к отрицательному полюсу этого источника, что является нормальной схемой включения.

Н. — Согласен. Но мне не ясно, как удается передавать изображения такими фотоэлементами.

Миллионы фотоэлементов? Это невозможно!

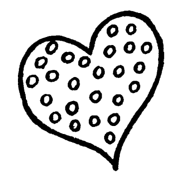


Л. — Вообрази какую-то поверхность, целиком заполненную фотоэлементами, подобными тому, который мы с тобой рассмотрели. Предположим, что все их катоды присоединены к неподвижным контактам, через которые 25 раз в секунду проходит последовательно переключатель *К*. Предположим, кроме того, что каждый из катодов присоединен к конденсатору *С*, все противоположные обкладки которого подключены в точке *М* к одному-единственному сопротивлению *R* и к сетке входной лампы усилителя. Если мы спроецируем изображение на совокупность этих фотоэлементов...

Н. — ...то наша система будет великолепно работать. Действительно, в каждый данный момент на точке *М* окажется напряжение, величина которого будет пропорциональна освещенности фотоэлемента, включаемого в этот момент в цепь переключателем *К*.

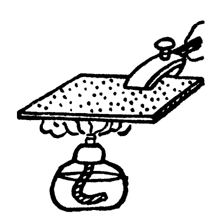
Л. — Вижу, что ты понял. А отдаешь ты себе отчет в том, что свет действует на все фотоэлементы все время, так что полученные напряжения являются результатом накопления зарядов в промежутке между двумя разрядами? Именно это-то действие накопления определяет высокую чувствительность прибора.

Н. — Но это неосуществимо! Нельзя же серьезно предусматривать включение на источник питания не менее 500 000 фотоэлементов, так как по меньшей мере таким должно быть их количество для развертки 625 строк. Еще менее реально представить себе переключатель, который за $1/25$ *сек* обошел бы 500 000 контактов. Все это, как ты и сам прекрасно понимаешь, совершенно невозможно.



Нет ничего невозможного

Л. — Между тем все это было великолепнейшим образом осуществлено Зворыкиным в его иконоскопе. Сердцем этого замечательного прибора является светочувствительная мозаика, или мишень. Мозаика нанесена на тонкую пластинку из слюды и изготавливается следующим образом. На пластинку наносят тонкий слой серебра. Затем подогревают пластинку, слой разрывается и серебро распределяется отдельными капельками, изолированными одна от другой. На этих капельках создают светочувствительные поверхности, осаждая на них пары цезия.



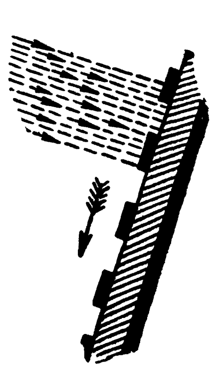
Н. — Мне приходилось встречать лак, который подвергали растрескиванию в печи, он очень эффектен на футлярах для измерительных приборов. Но растрескавшееся серебро — это для меня что-то совсем новое. Вот, значит, каким путем получают миллионы фотоэлементов.

Л. — Ну, да. По крайней мере таким образом получают катоды — наиболее существенную их часть. Электроны, испускаемые под действием света, притягиваются обычным анодом.

Н. — А индивидуальные конденсаторы наших фотоэлементов?

Л. — Этот вопрос был решен очень остроумно. Оказалось достаточным покрыть металлической пленкой другую сторону слюды, для того чтобы каждый катод образовал вместе с этой общей пластиной индивидуальный конденсатор для каждого фотоэлемента. Можно, впрочем, заметить, что абсолютная однородность катодов необязательна, потому что на каждый элемент изображения приходится по нескольку капелек.

Н. — Это поистине чудесно! Я уже догадываюсь, что переключатель, проходящий через миллионы контактов, не что иное, как электронный пучок электронно-лучевой трубки.

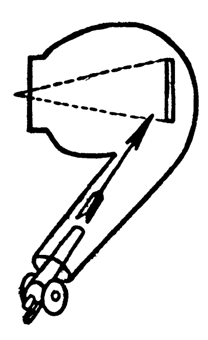


Л. — В твоей догадке нет особой заслуги, ты ведь видел, как я чертил схему иконоскопа (рис. 65).

Н. — Его колба имеет довольно странную форму.

Л. — Такая форма необходима потому, что светочувствительная мозаика должна одновременно подвергаться действию света и электронного пучка. Чтобы объектив мог спроецировать изображение передаваемой сцены на мозаику, одна из стенок трубки должна быть совершенно плоской. С другой стороны, электронная пушка, т. е. совокупность электродов, служащая для формирования электронного пучка, помещается в трубке, образующей с плоскостью мозаики угол порядка 45°. Обрати внимание на то, что вторым анодом (A_2) является металлический слой, покрывающий часть внутренней поверхности колбы.

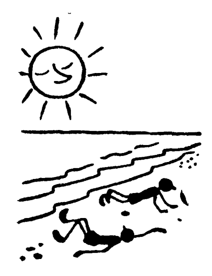
Н. — Я вижу, что фокусировка пятна электростатическая, в то время как отклонение электромагнитное.



Л. — Можно было бы поступить и наоборот. Не в этом заключаются существенные особенности иконоскопа. Особенно важно то, что все элементарные фотоэлементы мозаики непрерывно подвергаются освещению соответствующими точками изображения. А это значит, что заряды образуются непрерывно благодаря излучению электронов под действием света.

Н. — А что делается с этими электронами?

Л. — Они притягиваются анодом A_2. Что же касается положительных зарядов, накапливающихся на мозаике, то они образуют настоящее электронное



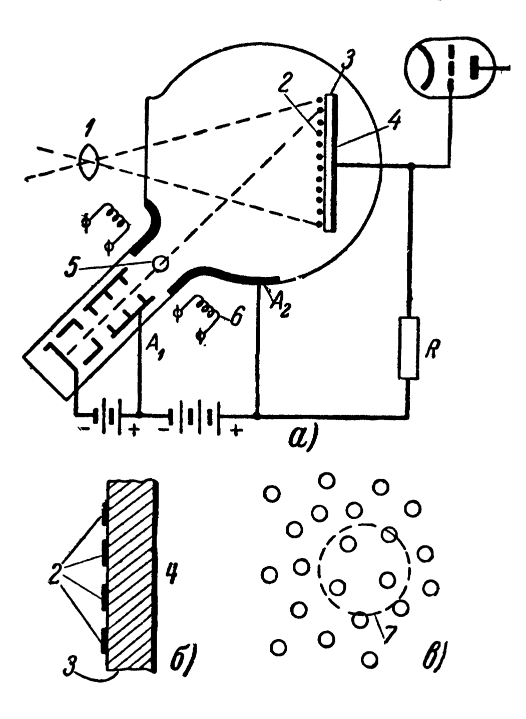


Рис. 65. Иконоскоп.

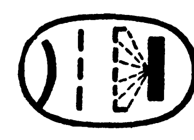
а — схема включения; *б* — разрез мишени; *в* — распределение светочувствительных элементов мозаики (в действительности размеры пятна гораздо больше по сравнению с капельками мозаики). *1* — объектив; *2* — мозаика; *3* — слюдяная пластина; *4* — металлическое покрытие, являющееся сигнальной пластиной; *5* — катушки кадрового отклонения; *6* — катушки строчного отклонения; *7* — электронное пятно.



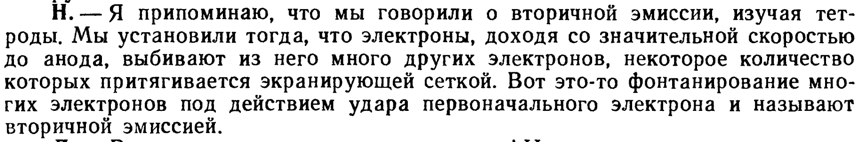
изображение. Электронный пучок нейтрализует заряд каждого элемента (включающего в себя целую группу фотоэлементов) один раз при развертке каждого изображения, т. е. через каждые $^1/_{25}$ *сек.* Эти разряды порождают ток, который проходит через сопротивление R и создает на его зажимах напряжение...

Н. — ...которое зависит от освещенности развертываемого элемента изображения. Я прекрасно понял принцип действия иконоскопа, который по сути дела очень прост.

Искусство использования недостатков



Л. — По правде сказать, в действительности он дьявольски сложен. Явление вторичной эмиссии в значительной степени портит кажущуюся простоту, которую ты только что восхвалял.



Н. — Я припоминаю, что мы говорили о вторичной эмиссии, изучая тетроды. Мы установили тогда, что электроны, доходя со значительной скоростью до анода, выбивают из него много других электронов, некоторое количество которых притягивается экранирующей сеткой. Вот это-то фонтанирование многих электронов под действием удара первоначального электрона и называют вторичной эмиссией.



Л. — Вот уж, право, ты не лишен памяти! Ну так вот, в иконоскопе мозаика подвергается бомбардировке электронами, летящими с большой скоростью и выбивающими множество вторичных электронов. Часть этих электронов притягивается вторым анодом. Другие возвращаются дождем на мозаику, сообщая ей слегка отрицательный заряд. Так что практически все явления в иконоскопе много сложнее, чем это могло показаться в первом приближении.

Н. — Ты мне говорил, что в жизни высшее искусство состоит в превращении пороков в добродетели, что относилось и к людям и к вещам. Мне пришла

в голову мысль, что вторичная эмиссия могла бы найти очень интересные применения. Ведь если один электрон может выбить множество, то можно как будто использовать это явление для получения усиления.

Л. — Ах, мой бедный Незнайкин, поистине ты слишком поздно появился в этой юдоли слез! Будь это век назад, ты предвосхитил бы славу Эдисона.

Н. — Ныне же, увы, когда у меня случайно появляются блестящие идеи, оказывается, что другие их у меня уже похитили много лет назад! Значит, вторичная эмиссия действительно используется для усиления?

Л. — Ну, конечно, Незнайкин. И уже давненько. Таким образом, например, усовершенствовали иконоскоп, разделив функции фотоэмиссии и вторичной эмиссии.

Н. — Каким же образом?

Л. — В так называемом супериконоскопе (рис. 66). Изображение проецируется на сплошную светочувствительную поверхность, образуемую очень

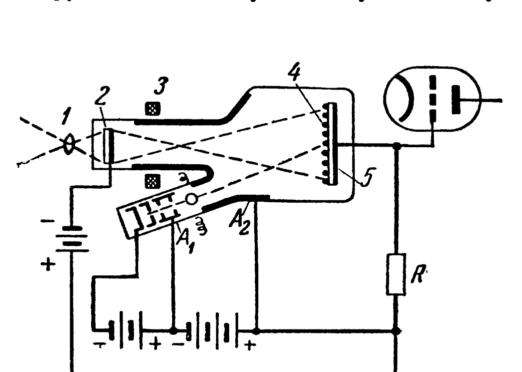
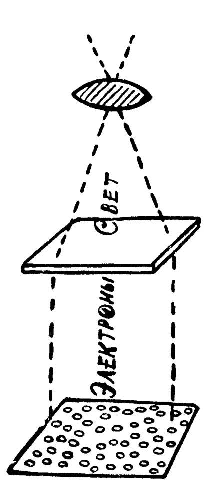


Рис. 66. Устройство супериконоскопа.

1 — объектив; *2* — фотокатод; *3* — фокусирующая катушка; *4* — мозаика; *5* — сигнальная пластина.



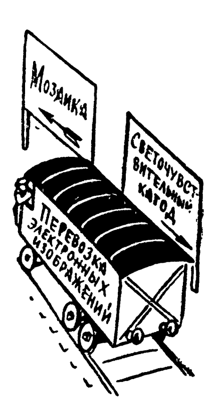
тонким, а потому полупрозрачным слоем серебра, нанесенным на лист слюды и очувствленным к свету пленкой из цезия.

Н. — Значит, никакого растрескивания уже не нужно для образования мозаики?

Л. — Нет, не нужно. Фотокатод супериконоскопа отличается от мозаики иконоскопа как раз тем, что он не нуждается в таком характерном для нее нарушении непрерывности. Поэтому используют всю освещенную поверхность и получают более высокую чувствительность.

Н. — На твоем рисунке, однако, я вижу справа в трубке, напротив фотокатода, мишень, которая в точности похожа на мозаику иконоскопа.

Л. — И все же это сходство обманчиво, ведь мишень чувствительна не к свету, а к электронным лучам, или же, выражаясь иначе, она может давать сильную вторичную эмиссию под действием удара электронов.



Н. — Уж не хочешь ли ты сказать, что бомбардировать мишень будут электроны, излученные фотокатодом?

Л. — Вот именно. Ты видишь, что вторым анодом (A_2) здесь также является металлическое покрытие некоторой части внутренней поверхности колбы. Электроны, которые под действием световых лучей испускаются фотокатодом, притягиваются вторым анодом. Но фокусирующая катушка, образующая настоящую магнитную линзу, препятствует им броситься в объятия этого анода. Таким образом, положительное напряжение на нем служит только для ускорения движения электронов, которые надлежащим образом направляются магнитным полем и устремляются в полном порядке на мишень.

Н. — Что ты называешь в полном порядке?

Л. — Я тебе недавно говорил об электронном изображении, образованном совокупностью электронов, вырванных из светочувствительной поверхности, распределение которых соответствует освещенности отдельных элементов. Именно такое электронное изображение проецируется на мозаику, так же как в камере фотоаппарата изображение проецируется на матовое стекло.



Н. — Решительно, телевизионные специалисты не знают преград! Я уже догадываюсь, что происходит дальше. Каждый электрон фотокатода, попадая на элементы мишени, выбивает оттуда много вторичных электронов, которые летят на второй анод. Развертывающий пучок электронной пушки должен



нейтрализовать положительные заряды, более значительные, чем в случае простого иконоскопа, так как здесь вторичная эмиссия осуществляет чудесное умножение.

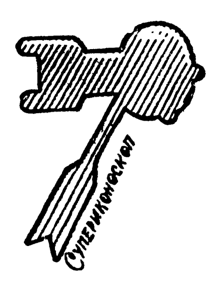
Л. — Ты прекрасно уловил, Незнайкин, существенные черты работы этого великолепного прибора, гораздо более чувствительного, чем простой иконоскоп.

Трубка простой формы...

Н. — По-видимому, со свойственным тебе злорадством ты мне сейчас заявишь, что им больше не пользуются.

Л. — Успокойся, дружище. Он с успехом используется наряду с другими типами электронных трубок, которые было бы утомительно рассматривать подробно. Однако существует прибор, которому стоит уделить больше внимания. Это ортикон с переносом изображения, или суперортикон, наиболее распространенный благодаря высокой чувствительности.

Н. — Я вижу (рис. 67), что колба этой трубки имеет не столь оригинальную форму, как у различных иконоскопов.



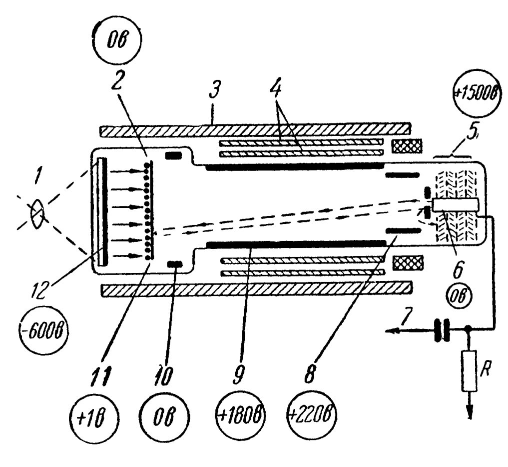
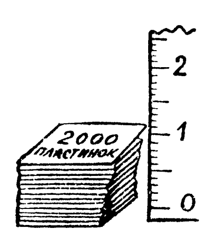


Рис. 67. Продольный разрез ортикона с переносом изображения (в кружках указаны напряжения на различных электродах).

1 — объектив; *2* — мишень; *3* — фокусирующая катушка; *4* — кадровые и строчные отклоняющие катушки; *5* — электронный умножитель; *6* — катод; *7* — выход; *8* и *9* — аноды; *10* — замедляющий электрод; *11* — экран; *12* — фотокатод.



Л. — В этом заключается одно из преимуществ трубки, потому что развертка производится электронным пучком, перпендикулярным развертываемой поверхности, что рациональнее косого пучка.

Н. — Я констатирую, что здесь также на внутренней поверхности лицевой стенки трубки имеется фотокатод, подобный фотокатоду супериконоскопа.

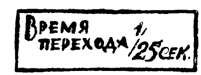
Л. — Правильно. Его отрицательный потенциал составляет 600 *в* относительно мишени. Мишень состоит из очень тонкой стеклянной пластинки.

Н. — Как папиросная бумага?

Л. — Гораздо тоньше, так как толщина 2 000 пластинок из такого стекла, сложенных вместе, равна только 1 *см*.

Н. — Зачем же нужно было брать такое тонкое стекло?

...но сложная по существу



Л. — Чтобы образующиеся на его поверхности заряды успевали, проходя через стекло, нейтрализоваться за время, равное интервалу между двумя последовательными развертками, т. е. за $^1/_{25}$ *сек*.

Н. — А как возникают эти заряды?

Л. — Не прерывай меня поминутно, Незнайкин, и я смогу удовлетворить твое любопытство. Благодаря тому, что потенциал мишени на 600 *в* выше, чем потенциал фотокатода, мишень притягивает электроны, испускаемые фотокатодом под действием света. Электронное изображение переносится на мишень, так как взаимное расположение электронов поддерживается полем фокусирующей катушки. Попадая на мишень, электроны выбивают из нее много вторичных электронов, которые притягиваются экраном, помещенным на расстоянии $^1/_{20}$ *мм* от мишени и имеющим относительно нее потенциал + 1 *в*. В то же время экран, состоящий из сетки с мелкими ячейками, не задерживает быстрых электронов, устремляющихся от фотокатода на мишень.



Н. — И, если я тебя правильно понял, на левой стороне мишени образуются положительные заряды, пропорциональные освещенностям соответствующих точек.

Л. — Правильно. Эти заряды медленно проходят через стекло и нейтрализуются отрицательными зарядами, создаваемыми на другой стороне электронным пучком в процессе развертки. Однако в этом случае мы имеем дело с трубкой с медленными электронами. Обрати внимание на то, что электроны, эмитируемые катодом, имеют очень небольшое ускорение благодаря незначительному потенциалу первого анода, равному $+220$ *в*. Второй анод с меньшим потенциалом, чем первый, и кольцевой электрод с нулевым потенциалом относительно катода, расположенный по соседству с мишенью, только задерживают электронный поток. Таким образом, электроны доходят до мишени со скоростью, почти равной нулю.

Н. — Как те шальные пули, которые на излете только слегка царапают бойцов и которые могут быть остановлены простой курткой?



Л. — Таким путем удается полностью избежать образования вторичной эмиссии на правой поверхности мишени. Пучок доставляет количество электронов, необходимое лишь для нейтрализации положительных зарядов.

Н. — А что делается с остальными?

Л. — Они печально возвращаются обратно, как провалившиеся на экзаменах кандидаты. Возрастающие напряжения анодов сообщают им ускоряющее движение, в результате чего эти электроны ударяют по первой мишени электронного умножителя с большой скоростью.

Н. — Что такое электронный умножитель?

Один день на бегах

Л. — Это прибор, который и ты мог бы без труда изобрести, но который, к несчастью, был осуществлен другими еще до твоего появления на свет.



Н. — Всегда одно и то же... Но раньше, чем говорить об этом умножителе, я хотел бы для себя подвести итоги всему услышанному от тебя об ортиконе с переносом изображения. Он напоминает мне в некотором отношении супериконоскоп. Как и там, в ортиконе имеется сплошной фотокатод, электронное изображение с которого переносится на мишень и где вторичная эмиссия значительно увеличивает заряды. Эти заряды нейтрализуются развертывающим пучком, который доставляет необходимое для этого количество электронов. Те электроны, которые остаются, возвращаются и попадают на электронный умножитель. Что это за прибор?

Л. — Надеюсь, ты никогда не играл на скачках?

Н. — Нет,.. Но я не вижу связи...

Л. — Пусть мой пример только не подстрекает тебя к этой пагубной мании, где кончают всегда потерей времени и денег. Тем не менее предположим, что ты явился на бега с десятью франками в кармане и что ты поставил на лошадь, которая выиграла первый забег, на чем ты выиграл 50 франков. Вместо того чтобы послушаться голоса разума и бежать из этого гибельного места, ты будешь упорствовать в своих заблуждениях и поставишь все 50 франков на лошадь, которая опять-таки придет первой во втором забеге и принесет тебе 250 франков. Тут уж никакая сила в мире не сможет удержать тебя рискнуть своим выигрышем на лошадь, которая в третьем забеге выиграет для тебя 1 250 франков. И вот во время пятого забега, не прислушавшись к голосу совести и поправ основные принципы морали, ты покинешь бега с суммой в 31 250 франков...

Н. — Прости, Любознайкин, но ты мне напоминаешь того исследователя, который в самом центре Африки обращается к негру... на «негритянском» языке: «Моя хотеть пить», а негр отвечает ему на чистом французском языке: «Если мосье потрудится за мной следовать...». Ты что же думаешь, что я не знаю геометрической прогрессии?

Л. — Не обижайся, Незнайкин. Я рассказал тебе эту неправдоподобную историю только для того, чтобы ты лучше понял принцип работы электронного умножителя. Он состоит из нескольких мишеней, имеющих постепенно возрастающие потенциалы (рис. 68). Электрон, падающий на первую мишень, выбивает из нее, например, 5 вторичных электронов. Притягиваемые и ускоряемые более высоким потенциалом следующей мишени, они выбивают из нее уже $5 \cdot 5 = 25$ вторичных электронов. То же происходит на каждой следующей мишени. Таким образом, очень слабому электронному току на входе соответствует значительный ток на выходе электронного умножителя.

Н. — И такое устройство помещают у катода ортикона?

Л. — Да. В нем бывает обычно пять каскадов. Потенциал последней мишени доводится приблизительно до + 1 500 *в*. Промежуточные напряжения получают при помощи делителя напряжений из сопротивлений, смонтированных внутри трубки.



Н. — Мне кажется, что снабженная столь замечательным умножителем, эта передающая трубка должна обладать чрезвычайно высокой чувствительностью.

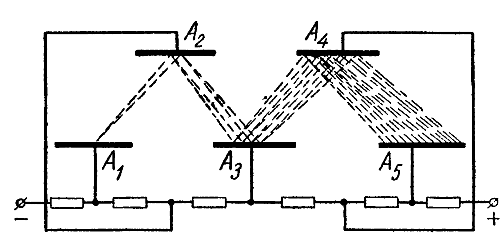
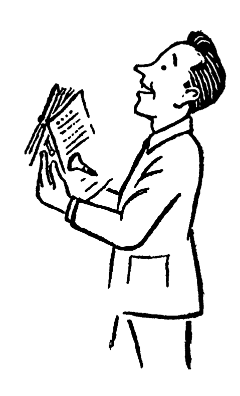


Рис. 68. Схема электронного умножителя, содержащего пять анодов с последовательно возрастающими потенциалами.

Л. — Это так и есть. Для ортикона с переносом изображения можно ограничиться для освещения одной свечой. При более ярком освещении можно диафрагмировать объектив, чтобы увеличить глубину поля резкости, не опасаясь потери яркости воспроизведенного изображения.



БЕСЕДА ДЕСЯТАЯ

После изучения различных передающих трубок Любознайкин опишет общий состав телевизионного передатчика. Он в известной мере аналогичен радиовещательному передатчику, однако значительно сложнее его из-за необходимости модулировать несущую волну не только видеосигналом, но и синхронизирующими импульсами в конце каждой строки и кадра. Первые импульсы имеют простую форму, чего нельзя сказать о вторых. Таким образом, темой беседы Любознайкина и Незнайкина окажутся следующие вопросы: общая схема передатчика; электронный видоискатель; форма полного телевизионного сигнала; амплитудное разделение; гашение обратного хода; форма строчного и кадрового синхронизирующих импульсов; полоса видеочастот; передача на одной боковой полосе; используемые несущие частоты; частотный спектр изображения и звука.

СИНХРОИМПУЛЬСЫ И ВОЛНЫ

Передатчик в банках

Любознайкин. — Для чего предназначен этот огромный лист белой бумаги, который ты разложил на столе, Незнайкин? Уже не собираешься ли ты рисовать афишу?

Незнайкин. — Нет. Но я предусмотрителен. Так как я тебя хорошо изучил, я ожидаю, что ты мне сегодня начертишь полную схему телевизионного передатчика. Если учесть его сложность, то размер моего листа вовсе не так уж велик.



Л. — Нет никакой необходимости знать во всех подробностях устройство и принципы работы передатчика. Тебе важно знать форму сигналов, которые он излучает, и общий принцип телевизионной передачи. Вот почему я описал различные телевизионные камеры. Схему же я начерчу на уголке твоего листа, так как она будет достаточно... схематичной.

Н. — Это то, что я называю «схемой в консервных банках». Каждая из твоих маленьких банок на самом деле частенько сложное сооружение. Но я признаю, что при таком способе изображения состав устройства становится яснее, так же как и связь между его основными частями.

Л. — Так вот «консервные банки», составляющие телевизионный передатчик (рис. 69). Я не стал изображать различные источники питания, включая

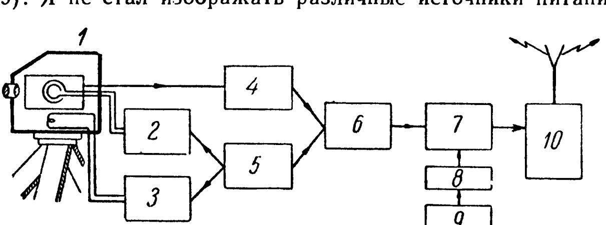


Рис. 69. Блок-схема телевизионного передатчика.

1 — передающая камера; *2* — генератор кадровой развертки; *3* — генератор строчной развертки; *4* — видеоусилитель; *5* — синхрогенератор; *6* — смеситель; *7* — модулятор; *8* — усилитель высокой частоты; *9* — стабилизированный задающий генератор; *10* — усилитель мощности.

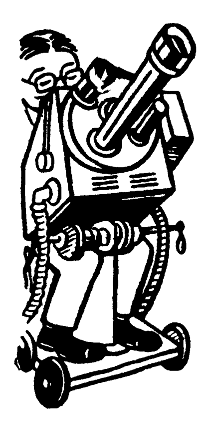


и питание передающей трубки. Телевизионная камера также нарисована как можно схематичнее. Я, например, опустил электронный видоискатель.

Н. — Что ты так называешь?

Л. — То, что соответствует оптическому видоискателю фотоаппарата, дающему возможность хорошо наблюдать и кадрировать объект съемки, а также навести на фокус. В телевидении для этого используется простейший телевизионный приемник, встроенный в камеру и получающий видеосигнал от соответствующего усилителя. Наблюдая за изображением на экране маленькой электронно-лучевой трубки, которой снабжен этот приемник, оператор, ведущий передачу, видит то же, что и миллионы телевизионных зрителей. Следовательно, он хорошо может кадрировать передаваемую сцену, так же как и управлять объективом и диафрагмой, чтобы обеспечить желаемую четкость во всех планах изображения.

Н. — Я вижу, что оба генератора развертки камеры соединены с генера-



тором импульсов. Тот ли это прибор, который вырабатывает синхронизирующие импульсы?

Л. — Да, это синхрогенератор — довольно сложное устройство, так как он одновременно вырабатывает специальные сигналы в конце каждой строки и кадра. Частота кадровых сигналов составляет 50 *гц* при развертывании 25 изображений в секунду благодаря применению чересстрочной развертки. Частота строчных импульсов гораздо больше. Она равна количеству строк в каждом кадре, умноженному на количество кадров, передаваемых в секунду.

Н. — Применяются ли два независимых генератора этих сигналов?

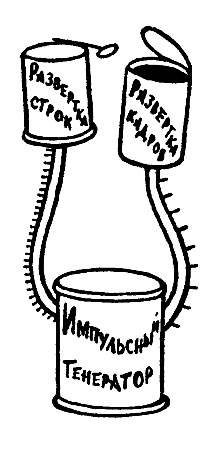
Л. — Нет. Исходной является одна частота, которую множат или делят для получения требуемых сигналов.

Н. — Таким образом, «консервная банка», снабженная скромной этикеткой «синхрогенератор», оказывается хитроумным прибором.

Л. — Не забудь, что его роль не ограничивается управлением развертками телевизионной камеры. Его импульсы должны вводиться также в видеосигнал, чтобы обеспечить синхронизацию всех приемников.

Н. — Мне кажется, что это происходит в «смесителе», куда попадает сигнал камеры после видеоусилителя.

Л. — Правильно. Можно заметить также, что полный телевизионный сигнал используется в контрольном приемнике, схема которого проще схем обычных приемников, так как он не имеет высокочастотной части. Полный телевизионный сигнал, как и сигнал низкой частоты в радиовещании, используется для модуляции радиопередатчика, для чего его подают на модулируемый каскад, где осуществляется изменение амплитуды высокочастотных колебаний, генерируемых задающим генератором, очень стабильным по частоте. Наконец, после усиления мощности модулированные токи высокой частоты подаются в антенну, откуда их энергия излучается в виде волн.





Свет появляется ниже 75%

Н. — Если ты не возражаешь, последуем примеру этих волн и оставим передатчик, чтобы вернуться к приемнику.

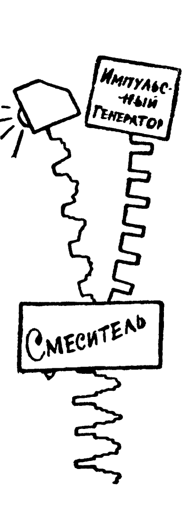
Л. — Я думаю, что нам выгоднее всего временно остаться в пространстве между передающей и приемной антеннами, чтобы поближе познакомиться с формой передаваемого полного сигнала.

Н. — Разве мы не говорили, что этот модулированный сигнал передает яркости последовательно развертываемых элементов изображения?

Л. — Ты забыл, что к видеосигналу добавляются синхронизирующие импульсы.

Н. — Да, верно. После твоего короткого объяснения я над этим задумывался. Многое мне кажется неясным в этом вопросе. Как, например, отличить синхронизирующие импульсы от видеосигнала? Как, с другой стороны, можно отличить импульсы строк от кадровых импульсов?

Л. — Между видеосигналами и синхросигналами устанавливается различие по амплитуде. Существует два типа полных телевизионных сигналов, так называемые негативный и позитивный сигналы. Негативная передача принята в СССР, большинстве европейских стран и США, а позитивная — во Франции и Англии.



Негативный сигнал (рис. 70) отличается тем, что синхросигналы занимают область напряжений от 75 до 100%, а сигнал собственно изображения — область от 75 примерно до 15% максимальной амплитуды. Область же от 15 до 0% остается непромодулированной. При этом уровню черного соответствуют 75, а уровню белого — только 15% максимальной амплитуды. Все остальные градации яркости, или полутона, занимают область между этими двумя крайними значениями. Таким образом, увеличению яркости соответствует уменьшение сигнала и наоборот. Отсюда и наименование сигнала — негативный.

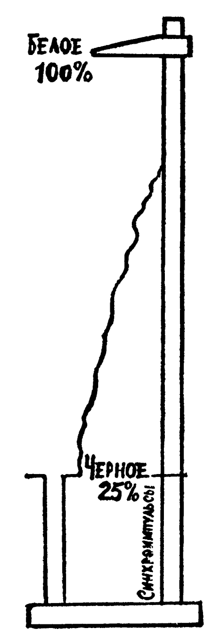
Н. — Следовательно, позитивный сигнал имеет противоположную полярность. Синхросигнал занимает область от 0 до 25%, а собственно сигнал изображения — от 25 до 100%. Таким образом, в этом случае увеличению яркости соответствует увеличение сигнала. В чем заключается разница между этими двумя типами передачи?

Л. — Негативная передача имеет ряд серьезных преимуществ. Прежде всего синхросигналы передаются на высоком уровне мощности, благодаря чему синхронизация приемников менее подвержена воздействию помех. Кроме того, импульсные помехи, иногда столь интенсивные в больших городах, создают на экране телевизора преимущественно менее заметные черные, а не ярко светящиеся пятна. Наконец, при негативной передаче можно проще осуществить прием звукового сопровождения очень прогрессивным методом биений несущих, о чем мы будем говорить дальше.

Ты увидишь дальше также, что независимо от типа передачи, негативной или позитивной, видеосигнал после детектирования легко может быть получен

в зависимости от необходимости позитивным, т. е. с синхроимпульсами, направленными в сторону отрицательных значений напряжения, или негативным с синхроимпульсами, направленными в сторону положительных значений.

Н. — Но какой же видеосигнал подается в приемнике на управляющий электрод приемной трубки? Он ведь должен изменять яркость пятна между максимумом и тем минимумом, который создается отсутствием всякого света и который мы называем черным.



Л. — Видеосигнал можно подавать как на управляющий электрод, так и на катод электронно-лучевой трубки. Принципиально это совершенно безразлично. Однако естественно, что в первом случае при увеличении напряжения видеосигнала яркость будет увеличиваться, а во втором случае — уменьшаться.

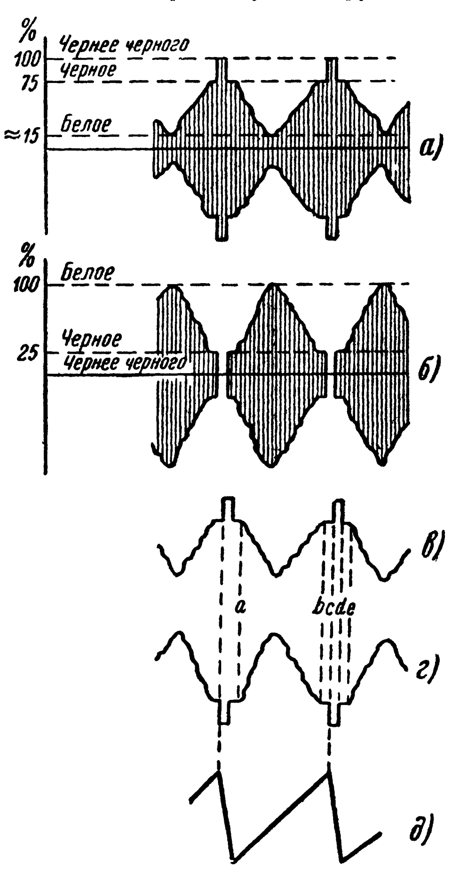


Рис. 70. Разные виды телевизионных сигналов (показаны две строки).

а — негативная передача; *б* — позитивная передача; *в* — негативный видеосигнал; *г* — позитивный видеосигнал; *д* — строчное развертывающее напряжение.

Н. — Я, кажется, понял. Для получения правильного позитивного, а не негативного изображения на экране трубки на управляющий электрод следует подавать позитивный видеосигнал, а на катод — негативный. Что же лучше?

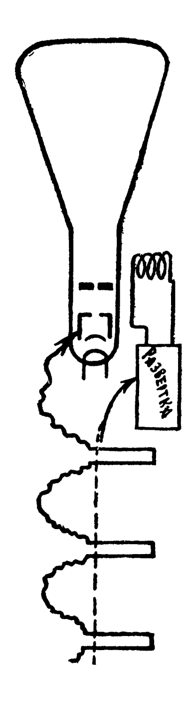
Л. — Выбор того или иного способа возбуждения трубки определяется главным образом схемными особенностями телевизора: типом видеоусилителя, амплитудного селектора и пр. Впрочем, в случае непосредственной связи между анодом лампы видеусилителя и электронно-лучевой трубкой следует предпочесть схему подачи сигнала на катод, так как в этом случае, как ты увидишь дальше, трубка находится в большей безопасности.

Н. — Надеюсь, что синхросигналы не подают на трубку вместе с видеосигналами. В противном случае пятно будет чернее черного, если можно так выразиться

Л. — Так и говорят. И вопреки твоему мнению сигналы синхронизации подают на трубку вместе с видеосигналом. В чем ты видишь здесь неудобство? Тот факт, что пятно остается невидимым во время передачи сигналов, синхронизация является, наоборот, большим преимуществом.

Н. — Я не вижу почему.

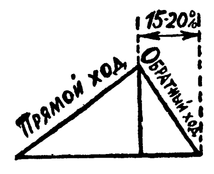
Л. — Нет, сегодня ты решительно не слишком проницателен. Подумай о направлении движения электронного пятна во время подачи сигналов синхронизации.



Н. — Они начинают свое обратное движение в конце строк или в конце кадров. А! Теперь я понимаю. Ведь очень важно, чтобы быстрое обратное движение не оставляло следов на экране. Вот почему оперируют с синхронизирующими сигналами, все значения которых чернее черного и начинающимися на площадке, расположенной на уровне черного (площадка *b* — *e* на рис. 70).

Л. — Не только поэтому. Разность амплитуд дает также возможность отделить в приемнике импульсы синхронизации от видеосигнала для подачи на соответствующие развертывающие устройства.

Н. — Теперь вся эта история с сигналами в области чернее черного становится для меня ясной. Полный сигнал подается на приемную трубку, чтобы изменять яркость пятна в соответствии с передаваемым изображением и гасить его во время обратного хода. С другой стороны, импульсы синхронизации, выделенные из полного сигнала, передают свой ритм разверткам строк и кадров.



Сигналы в конце строк

Н. — А какова длительность сигналов синхронизации?

Л. — Включая черную площадку *d — e*, которая следует за импульсом, длительность должна слегка превысить время обратного хода пятна, так чтобы пятно оставалось невидимым все это время. В соответствии с используемыми системами сигналы в конце строки занимают от 15 до 20% общей длительности каждой строки. Когда мы с тобой говорили о развертке в 625 строк, где общая длительность каждой строки 64 *мксек*, мы принимали время обратного хода равным 11 *мксек*. На самом деле длительность обратного хода немного меньше. А 11 *мксек* — это общее время, отводимое сигналу синхронизации вместе с обеими черными площадками (начало *b — c* и продолжение *d — e* на рис. 70).

Н. — Так, значит, сигнал в конце строки состоит из импульса длительностью 11 *мксек*?

Л. — Не торопись, Незнайкин. Длительность импульса составляет только 5 *мксек*. Ему предшествует и за ним следует короткая горизонтальная площадка на уровне черного, о чем мы уже говорили.



Н. — Если ты не возражаешь, я повторю все, что происходит за время одной строки. Во-первых, в течение 80—85% ее длительности видеосигнал *(a — b)* передает яркости соответствующих точек изображения. Развертывающие устройства приемника и передатчика воспроизводят восходящую часть зубьев пилы. Затем в течение короткого промежутка времени *(b — c)* сигнал поддерживается на уровне черного, тогда как движение пятна пока продолжается в том же направлении. Тут появляется собственно синхронизирующий импульс. В момент его появления *(c)* начинается разряд развертывающих устройств, напряжение которых быстро падает, уводя электронное пятно к началу строки. Обратный ход заканчивается примерно в тот момент, когда импульс прекращается *(d)*. Однако предусмотрен короткий защитный промежуток времени *(d — e)*, в течение которого пятно продолжает быть невидимым, пока оно вновь не появится для вычерчивания следующей строки.

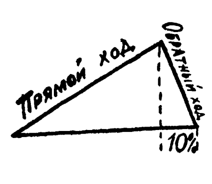
Л. — Я с удовольствием отмечаю, что мои рисунки, более красноречивые, чем длинная речь, как сказал Наполеон, помогли тебе в совершенстве понять механизм развертывания строк.

Н. — А в передатчике тоже подают специальные импульсы на передающие трубки, чтобы погасить пятно?

Л. — Конечно. Благодаря этому электронный луч не может нарушить во время обратного хода распределения зарядов на мишени.

Сигналы в конце кадров

Н. — Я полагаю, что для синхронизации кадровой развертки используются импульсы, идентичные импульсам синхронизации строк.

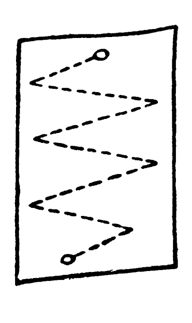


Л. — И да и нет. Принцип сохраняется. Однако по своей длительности кадровые импульсы отличаются от строчных, благодаря чему их удается разделить в приемнике так, чтобы направить каждый вид импульсов на соответствующее развертывающее устройство.

Н. — Так как длительность каждого периода кадровой развертки намного превышает длительность развертки строки, я думаю, что и синхронизирующие импульсы длиннее для кадров.

Л. — Безусловно. И здесь тоже нужно, чтобы во время обратного хода пятно было погашено. Но время, необходимое для возвращения пятна снизу вверх, составляет около 10% общей длительности кадровой развертки. А это значит, что за это время пятно вычертит несколько строк.

Н. — А что делает в это время развертка строк? Ее работа прекращается?



Л. — Зачем? Никакого неудобства нет в том, что во время подъема пятно продолжает свое движение справа налево. Обратный ход подобен движению пьяного, возвращающегося поздно ночью зигзагами..., но ход невидимый, так как сигнал находится в области черного или чернее черного.

Н. — Значит, существует один импульс в конце кадра сравнительно большой длительности?

Л. — Опять-таки и да и нет, Незнайкин. Ведь во время обратного хода по кадру нельзя предоставлять самой себе развертку строк. И, в самом деле, если на развертку не подавать синхронизирующих сигналов, она будет осуществлять колебания со своим собственным периодом, который, как я уже говорил, немного больше интервала между синхронизирующими импульсами. Вследствие этого произойдет рассогласование, достаточно значительное за время нескольких колебаний, соответствующих длительности кадрового сигнала. Таким образом, при возобновлении развертки следующего кадра синхронизация строк не сможет быть восстановлена достаточно быстро.

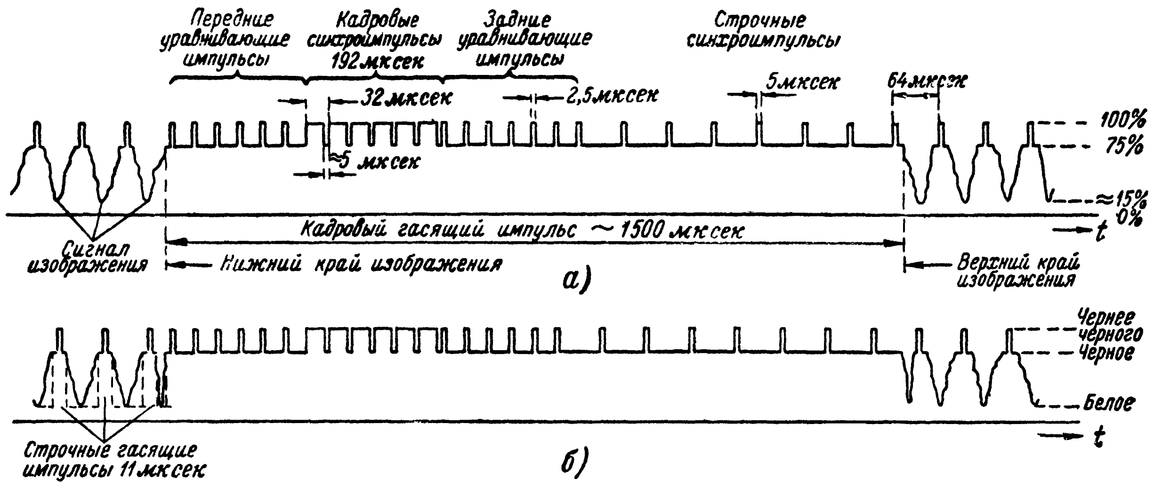
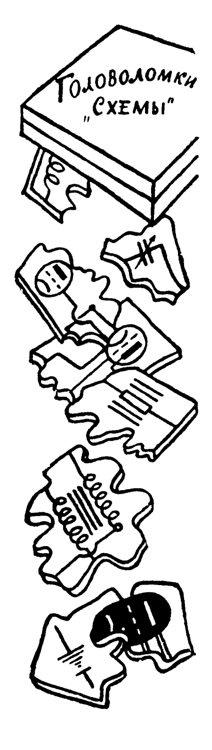


Рис. 71. Форма полного видеосигнала в области кадрового гасящего импульса для двух смежных полей, принятая для стандарта четкости 625 строк. Благодаря наличию уравнивающих импульсов расстояние между кадровым синхроимпульсом и непосредственно предшествующим и последующим строчными синхроимпульсами одинаково для полей четных и нечетных строк. Поэтому форма кадровых импульсов после интегрирования также одинакова, что необходимо для получения точной чересстрочности разверток.

а — поле четных строк; *б* — поле нечетных строк.



Н. — Какая неприятность! И как же этому помочь?

Л. — А ты не догадываешься?

Н. — Мне думается, что при передаче кадровых импульсов сохраняют также импульсы строк.

Л. — Поистине, устами младенцев глаголет истина. Именно этот принцип принят для сигналов синхронизации различных систем, которые в остальном отличаются друг от друга рядом деталей. В то время как импульсы строк почти одинаковы во всех системах, в кадровых импульсах наблюдается большое разнообразие. Тебе нет необходимости подробно их изучать. Достаточно знать, что разряд развертки кадров вызывается импульсом значительно большей длительности, чем длительность строчных синхронизирующих импульсов. Я тебе покажу (рис. 71) форму полного видеосигнала в области кадрового синхроимпульса для двух следующих друг за другом полей (полурастров), принятую для 625 строк разложения.

Транспортные средства

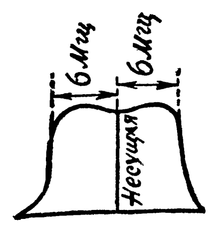
Н. — Каким невероятно сложным является телевизионный сигнал! Это мне несколько напоминает головоломки, в которые мои родители заставляли меня играть, когда я был ребенком, и которые вопреки их надеждам меня никогда не забавляли. В коробочке лежала масса кусочков картинок, которые нужно было правильно собрать, чтобы воспроизвести картину в целом.

Л. — Сигнал телевизионного передатчика сложнее, чем головоломки твоего детства. Он содержит не только элементы изображения, но и «способ употребления» в виде синхронизирующих сигналов, т. е. способ их воссоединения.

Н. — И все это упаковано в коробку, которой является высокая частота. Во время нашей первой беседы ты показал, что видеосигнал занимает очень широкую полосу частот и поэтому для его переноса требуется несущая очень высокой частоты. Ты мог бы привести некоторые цифровые данные?

Л. — При стандарте четкости 625 строк максимальная частота видеосигнала составляет около 6 000 000 *гц*. Для французского стандарта 819 строк она превышает 10 000 000, а для английского 405 строк — около 2 500 000 *гц*.

Н. — Ты меня доведешь до головокружения. Когда подумаешь, что этот сигнал создает вокруг несущей частоты две симметричные боковые полосы модуляции! Ведь это может привести к ужасной тесноте в эфире.



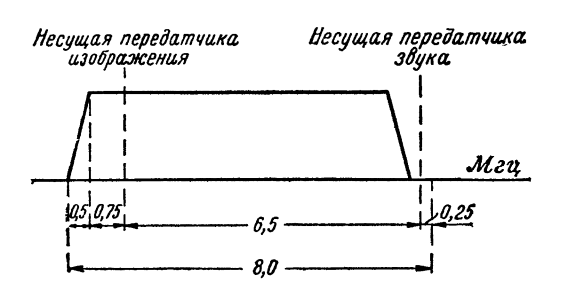
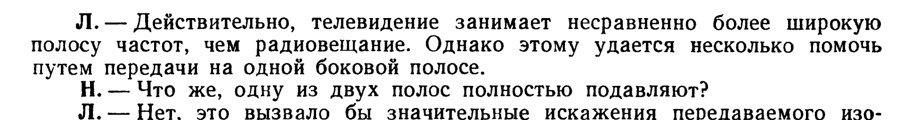


Рис. 72. Частотная характеристика телевизионного передатчика.



Л. — Действительно, телевидение занимает несравненно более широкую полосу частот, чем радиовещание. Однако этому удается несколько помочь путем передачи на одной боковой полосе.

Н. — Что же, одну из двух полос полностью подавляют?

Л. — Нет, это вызвало бы значительные искажения передаваемого изображения. Срезают лишь значительную часть одной полосы (рис. 72).

Н. — А каковы используемые несущие частоты?

Л. — Для них отведено несколько диапазонов, зафиксированных международными соглашениями, от 40 до 230 *Мгц*, или от 7,5 до 1,3 *м*. В последнее время, чтобы разместить большое количество новых телевизионных передатчиков, пришлось дополнительно отвести диапазон от 470 до 910 *Мгц*, что соответствует волнам от 33 до 64 *см*.

И слово было дано

Н. — Но наши изображения немые. Нет ли способа добавить к головоломкам изображений маленькую полосу частот звуковой модуляции, чтобы оживить картину?

Л. — Конечно, существуют способы передачи звука на той же несущей частоте, что и изображение. Но все же для этого предпочитают использовать особый передатчик, предназначенный исключительно для передачи звукового сопровождения.

Н. — Мне думается, что его частота совершенно отлична от частоты передатчика изображений.

Л. — Напротив, выбирают частоту, возможно более близкую к частоте передатчика изображений, однако так, чтобы боковые модуляционные полосы не накладывались одна на другую. Между наиболее близкими частотами боковых полос сохраняют интервал, не превышающий миллиона герц. Интервал между несущими частотами звука и изображения составляет в СССР 6,5 *Мгц*, в Европе — 5,5 *Мгц*, в США — 4,5 *Мгц*, в Англии — 3,5 *Мгц* и, наконец, во Франции — 11,15 *Мгц*.

Н. — Зачем же такая скученность?

Л. — Благодаря этому, как ты скоро увидишь, можно использовать общую антенну и усилить сигналы звука и изображения в общих каскадах приемника, прежде чем их разделить.

Н. — А какова полоса передатчика звука? Установлены ли здесь те же драконовы законы, что и для обычного радиовещания, где 4 500 *гц* являются границей допускаемых частот?

Л. — К великому счастью, об этом нет и речи. При столь высоких несущих частотах какие-то несколько тысяч герц особой роли не играют. Поэтому используют всю полосу слышимых частот, т. е. до 15 000 *гц*. При этом в основном, кроме Франции и Англии, звук передается методом частотной модуляции.

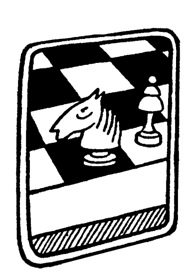
Н. — Значит, справедливо говорят о высоком качестве звука в телевидении?

Л. — Совершенно справедливо, при условии, что канал звука в приемнике тщательно выполнен.

Н. — Если я правильно понял, именно звук является главным украшением телевидения...

λ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 метры

телевидение



БЕСЕДА ОДИННАДЦАТАЯ

Вернувшись к проблеме приемника, Любознайкин и Незнайкин разберут в общих чертах его состав, прежде чем подробно изучать различные каскады. Как и в случае радиовещательных приемников, они ознакомятся со схемами с прямым усилением и преобразованием частоты. Читатель должен будет внимательно проследить за последовательными изменениями сигнала, рассматривая следующие вопросы: прямое усиление или супергетеродин; приемник звука; каскады высокой частоты; избирательность и разделение звука и изображения; прием на одной боковой полосе; восстановление постоянной составляющей; амплитудная селекция и схемы разделения; совместное усиление по высокой частоте изображения и звука; разделение изображения и звука в супергетеродине; влияние ухода частоты гетеродина на звук.

ТЕЛЕВИЗОР В КОНСЕРВНЫХ БАНКАХ



Прямое усиление или супергетеродин?

Незнайкин. — Знаешь, дорогой Любознайкин, у меня такое же чувство, как у матери, когда она оставляет своих ребятишек со спичками и ножницами в качестве игрушек.

Любознайкин. — Почему это, дружище?

Н. — Да потому что в последний раз мы с тобой оставили где-то между небом и землей волны, которые переносят элементы изображения и синхронизирующие сигналы, дающие возможность располагать их в соответствующем порядке, равно как и звук, дополняющий зрительные впечатления.

Л. — Другими словами, тебе не терпится собрать всю эту энергию высокой частоты...

Н. — ...в телевизионный приемник, за сборку которого я, наконец, хотел бы взяться.

Л. — А ты уже остановился на определенном типе схемы? Прямое усиление или преобразование частоты? Одна полоса или две полосы?



Н. — Постой. Я не знал, что нужно выбирать.

Л. — Жизнь, Незнайкин, это бесконечно возобновляемый выбор.

Н. — Пожалуйста, без сентенций, друг мой, и объясни, о чем идет речь. Я думаю, что назначением любого телевизионного приемника являются прием сигналов и выделение из них видеочастоты (которая подается на трубку) и импульсов синхронизации, служащих для поддержания правильной частоты строчной и кадровой разверток.

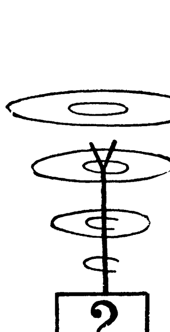
Л. — Да, при этом условии ты надлежащим образом воспроизведешь переданное изображение.

Н. — Но то, что ты только что сказал, наводит меня на мысль, что, как и в радиовещании, можно либо непосредственно усилить напряжение высокой частоты, принимаемое антенной, с тем чтобы после детектирования выделить видеочастоту, либо начать с понижения частоты, как это обычно практикуется в супергетеродинах, чтобы с бóльшим удобством усилить сигнал до детектирования.

Л. — Оба эти метода действительно используются в телевидении, тогда как в радиовещании схемы с прямым усилением в настоящее время почти не применяются; их вытеснил преобразователь частоты.

Н. — А что предпочтительнее для телевидения?

Л. — Каждая схема имеет свои преимущества и недостатки. Мы рассмотрим и те и другие, потому что обе системы имеют своих сторонников. Однако и тут супергетеродины почти вытеснили приемники прямого усиления.



Музыка прежде всего

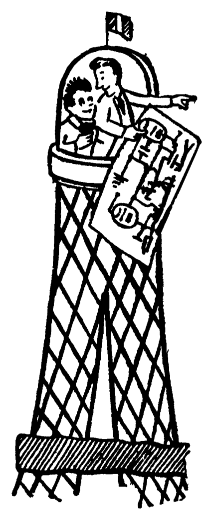
Н. — Ты опять рисуешь схемы, которые я назвал консервными банками (рис. 73)?

Л. — Чтобы дать общее представление о телевизоре, такая схема наиболее удобна. Когда я хочу познакомить с Парижем какого-нибудь приехавшего из провинции приятеля или иностранца, я не начинаю с показа живописного лабиринта старинных улочек, а веду его на третью площадку Эйфелевой башни. Оттуда перед ним расстилается весь ансамбль. Когда в его памяти таким образом запечатлелась общая конфигурация города, я ему показываю

подробно разные кварталы. Мы так же поступим, разбирая состав телевизионного приемника. Если бы я начертил с самого начала подробную схему, ты бы в ней утонул!

Н. — Не могу сказать, чтобы твой метод мне не нравился; я не питаю враждебных чувств к консервным банкам. Рассматривая их совокупность, предположительно изображающую телевизор с прямым усилением, должен сознаться, что ничего не могу понять.

Почему, например, в канале звукового сопровождения ты поместил усилитель промежуточной частоты, в то время как это приемник прямого усиления и никакого гетеродина в схеме не существует. И почему напряжение на



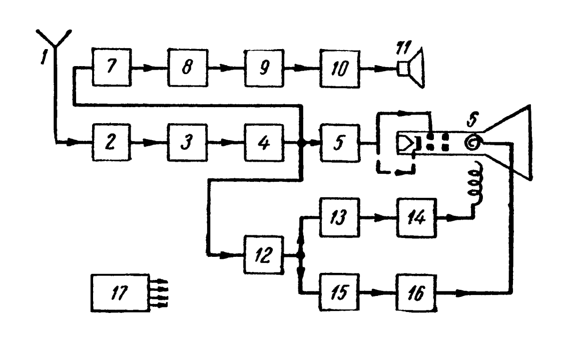
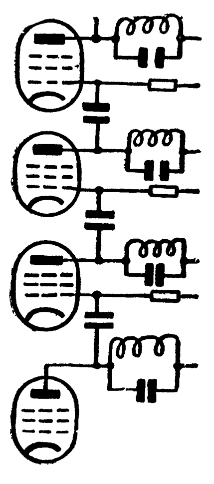


Рис. 73. Блок-схема телевизора прямого усиления.

1 — антенна; *2* — усилитель высокой частоты; *3* — видеодетектор; *4* — видеоусилитель; *5* — блок восстановления постоянной составляющей; *6* — электронно-лучевая трубка; *7* — усилитель промежуточной частоты звука (6,5 *Мгц*); *8* — амплитудный ограничитель; *9* — частотный детектор; *10* — усилитель низкой частоты; *11* — громкоговоритель; *12* — амплитудный селектор; *13* — генератор строчной развертки; *14* — усилитель строчной развертки; *15* — генератор кадровой развертки; *16* — усилитель кадровой развертки; *17* — блок питания.

канал звука снимается не с антенны и усилителя высокой частоты, а после видеодетектора и видеоусилителя, где никакой высокой частоты уже нет?

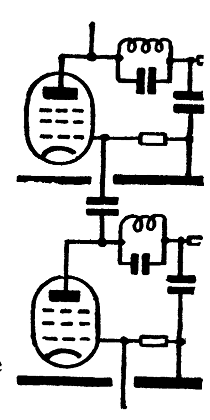
Л. — Потому что прием сигналов звукового сопровождения осуществляется по методу биений, в котором в качестве промежуточной частоты звука используются биения между несущими частотами изображения и звука.



Усилитель высокой частоты усиливает, как ты можешь убедиться на схеме, и сигналы звука и сигналы изображения, разнос несущих частот которых составляет (мы уже об этом говорили) 6,5 *Мгц* (или близкую к этому величину в некоторых других странах). Несущие частоты образуют биения, огибающая которых выделяется после детектирования полного телевизионного сигнала и усиливается видеоусилителем. Частота биений 6,5 *Мгц* промодулирована по амплитуде видеосигналом, а по частоте — сигналом звукового сопровождения.

Если взять такой частотный детектор, который совершенно не реагировал бы на амплитудную модуляцию, то после частотного детектирования выделилась бы только звуковая частота. Так как, однако, почти все частотные детекторы в той или иной степени детектируют и амплитудно-модулированные колебания, вследствие чего в канал звука может попасть видеосигнал, воспринимаемый, как неприятный треск с частотой 50 *гц*, перед частотным детектором обычно ставят каскад амплитудного ограничителя. Ты помнишь, что при негативной передаче область от 0 до 15% амплитуды полного телевизионного сигнала остается непромодулированной. Поэтому, если срезать амплитудным ограничителем все, что выше 15%, на частотный детектор попадет сигнал, промодулированный только звуковыми частотами.

Амплитудный ограничитель при этом, естественно, не вносит искажений в сигнал звукового сопровождения, так как он промодулирован по частоте, а не по амплитуде.



Можно было бы, конечно, применить в канале звука схему супергетеродина или прямого усиления. Однако исключительная простота и надежность схемы приема на биениях несущих являются причиной почти полного вытеснения всех других типов схем.

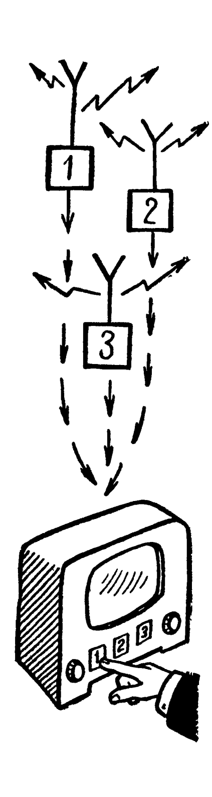
Н. — А усилитель низкой частоты тоже какой-нибудь особенный?

Л. — Не забудь, что полоса передаваемых звуковых частот здесь не урезана, как при передаче на средних волнах. Следовательно, мы заинтересованы в сохранении всех модулирующих частот, для чего полоса пропускания усилителя промежуточной частоты должна быть достаточно широкой, а усилитель низкой частоты и громкоговоритель — действительно высококачественными.

Н. — Как это ни кажется парадоксальным, по-видимому, телевизионные специалисты являются большими знатоками низкой частоты?

Л. — По крайней мере должны быть...

Когда звук и изображение смешиваются



Н. — Обратимся теперь к каналу изображения. Я вижу, что он начинается с усиления высокой частоты.

Л. — Да, сначала идут три или четыре каскада с настроенными контурами. Это количество может показаться чрезмерным. Однако оно необходимо для обеспечения необходимого усиления, так как на используемых частотах, к тому же с учетом ширины полосы передаваемых частот, усиление каждого каскада невелико.

Н. — Могу ли я тебе верить, Любознайкин? Когда-то ты говорил, что почти невозможно осуществить больше двух настроенных каскадов высокой частоты из-за возможности самовозбуждения вследствие паразитных связей между каскадами. И вот теперь ты совершенно хладнокровно говоришь о трех- или четырехкаскадных усилителях!!!

Л. — Такое количество каскадов можно использовать благодаря их очень малому усилению. Тем не менее возможность возникновения паразитных колебаний не исключена. Поэтому осуществление этих устройств требует известных мер предосторожности: экранирования каскадов, эффективных цепей развязок, рационального расположения деталей и монтажа и т. п. ...

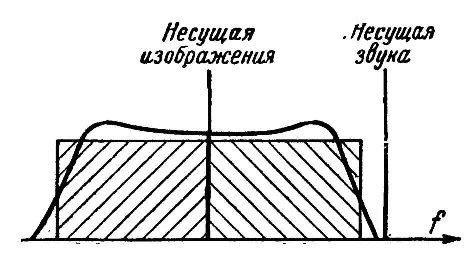


Рис. 74. Частотная характеристика приемника изображения при приеме двух боковых полос.

Н. — Но зачем же применять настроенные контуры? Раз хотят пропустить очень широкую полосу частот, апериодические цепи прекрасно подошли бы, а риск самовозбуждения был бы значительно уменьшен.

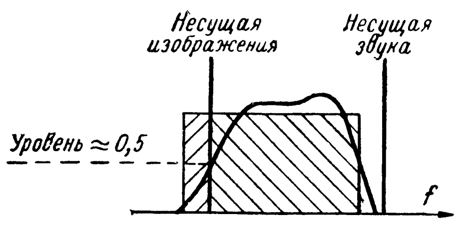


Рис. 75. Частотная характеристика приемника изображения при приеме одной боковой полосы.

Л. — Без настроенных контуров усиление оказалось бы недостаточным. Кроме того, нужно обеспечить определенную избирательность. А это довольно сложная проблема. Пропуская без ослабления все частоты видеосигнала, усилитель должен исключить возможность попадания в канал изображения несущей и боковых полос звука (рис. 74). Но между видеосигналом и звуком интервал частот очень незначителен. Это значит, что кривая избирательности приемника изображения должна быть широкой и плоской и одновременно должна иметь крутые скаты. В противном случае звук проникнет в изображение, а это уже катастрофа!

Н. — Наверное, экран приемной трубки начнет вибрировать?

Л. — Не говори глупостей, Незнайкин. Звуковые частоты, смешиваясь с видеосигналом, дают на изображении горизонтальные черные или серые полосы.

Н. — Что же нужно сделать, чтобы избежать этой опасности?

Л. — Придать кривой избирательности такую форму, чтобы пропустить всю полосу видеомодуляции, не пропуская, однако, модуляции звука. Это удается не без труда. Иногда приходится прибегать к режекторным фильтрам, которые улучшают разделение звука и изображения.

Н. — А как поступают в случае передачи на одной боковой полосе, о которой ты говорил в последней беседе?

Л. — В этом случае (рис. 75) кривая избирательности рассчитывается так, чтобы проходили боковая полоса, расположенная ближе к несущей звука, и часть второй полосы. Это облегчает возможность использования одной антенны и общих входных каскадов.

Н. — Ты меня успокоил, Любознайкин. Но есть еще один вопрос, который меня мучает: при большом числе настроенных каскадов проблема настройки на разные передачи должна быть очень трудной.

Л. — До сравнительно недавнего времени этот вопрос не возникал. Но в связи с бурным ростом количества передатчиков телевизионные зрители полу-

чили возможность выбирать желаемую передачу. С этой целью их приемники снабжены предварительно настроенными на необходимые частоты контурами, которые переключаются при помощи кнопок или поворотных переключателей. Очевидно, что многоканальные приемники бывают преимущественно супергетеродинного типа, с тем чтобы сократить число переключаемых контуров, предшествующих преобразованию частоты.

Солнце встречается с Луной

Н. — Как и в любом уважающем себя приемнике, высокая частота заканчивается у детектора, где она подобно раскрывающемуся и выпускающему куколку кокону возвращает видеосигнал, заключенный в нее в модулирующем каскаде передатчика.



Л. — Твое поэтическое сравнение вполне правильно. Полный телевизионный сигнал, содержащий одновременно импульсы синхронизации и видеосигнал, усиленный по мере надобности, будет подан на приемную трубку.

Н. — А что это за консервная банка, названная блоком восстановления постоянной составляющей?

Л. — Здесь речь идет о схеме для восстановления постоянной составляющей напряжения, приложенного к управляющему электроду трубки. Видеосигнал состоит из переменной составляющей, отражающей изменения яркости различных элементов изображения, и постоянной составляющей, пропорциональной среднему уровню яркости изображения.

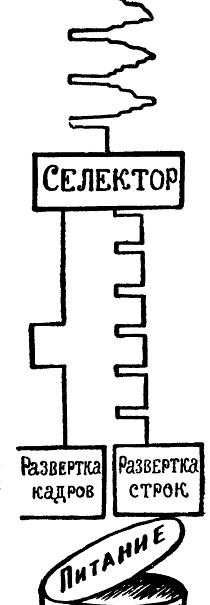
Н. — Если я правильно понял, постоянная составляющая играет ту же роль, что и время экспозиции фотоснимка в процессе печатания. С одной и той же переменной составляющей, я хочу сказать с одним и тем же негативом, можно получить снимок более светлый, или более темный, в соответствии с длительностью экспозиции.

Л. — Это именно так. И я могу открыть тебе секрет великолепных снимков при лунном освещении на фотографиях (и в кино): они производятся против света при ярком солнце! Передерживая их при печати, добиваются желаемого эффекта.

Н. — А как выполнена схема для восстановления постоянной составляющей?

Л. — Сегодня обойдемся без подробностей. Ты узнал, какова ее роль, и отныне сумеешь найти ей место в схеме. Мы к ней еще вернемся, когда будем рассматривать отдельные элементы телевизора.

Н. — В таком случае остальная часть твоей схемы меня не пугает. Я вижу, что видеосигнал подается также на амплитудный селектор. Без сомнения, здесь речь пойдет об устройстве, где импульсы синхронизации отделяются от видеосигнала в собственном смысле слова, т. е. от той его части, которая передает яркость элементов изображения?



Л. — Да. Кроме того, в этом селекторе производится разделение импульсов кадров и строк...

Н. — ... чтобы направить каждый вид импульсов на соответствующее развертывающее устройство. И за этими устройствами я вижу усилители и отклоняющие обмотки. Тут уж мы, как у себя дома.

Л. — Позже мы рассмотрим схему и принцип работы селектора. Но подумал ли ты, что множество ламп в различных каскадах телевизора нуждается в питании?

Н. — Так вот почему ты оставил самую большую из консервных банок для питания. Что же в ней заключено?

Л. — Источники накала, анодного питания и, иногда, высокого напряжения. Речь идет о напряжении в несколько тысяч вольт, которое должно быть приложено к аноду трубки. Его можно получить многими способами, и у нас будет возможность заняться им.

На весах супергетеродин и прямое усиление

Н. — Я начал посматривать на начерченную тобою схему телевизора с преобразованием частоты (рис. 76), и, если говорить правду, решительно ничего в ней не понимаю!

Л. — Да почему, мой бедный Незнайкин? За исключением той части схемы, которая предшествует детектированию, все остальное весьма схоже с ранее изученным.

Н. — Конечно. Но я не понимаю, каким образом предварительное усиление высокой частоты и преобразователь частоты с гетеродином могут быть общими для звука и изображения. Результатом этого, возможно, является большая экономия, но как все это может работать?

Л. — Безупречно, уверяю тебя. Заметь для начала, что полоса пропускания усилителя высокой частоты достаточно широка, чтобы охватить и несущую звука с ее модуляцией и несущую изображения с обеими боковыми полосами или по крайней мере с той из них, которая ближе к несущей звука.

Н. — Хорошо. Но как же удается разделить звук и изображение после преобразования частоты?

Л. — Чудес здесь нет. В результате биений частоты гетеродина с частотами звука и изображения получаются две разные частоты, которые без труда могут быть разделены настроенными контурами.

Н. — Это что-то не очень ясно.

Л. — Возьмем числовой пример. Предположим, что звук передается на частоте 56,25 *Мгц*, а изображение — на 49,75 *Мгц*. Если настроить гетеродин

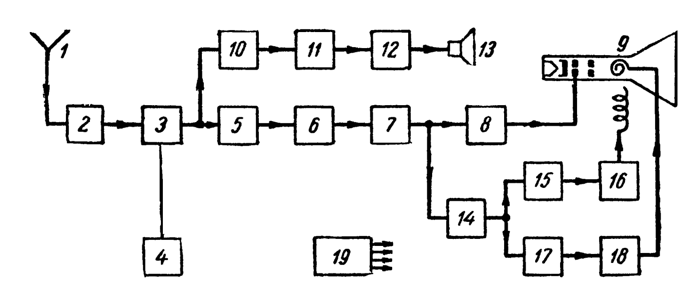
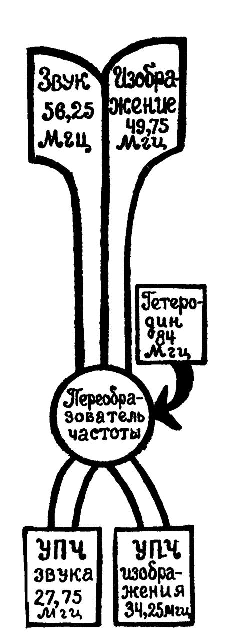


Рис. 76. Блок-схема телевизионного приемника супергетеродинного типа.

1 — антенна; *2* — усилитель высокой частоты; *3* — смеситель; *4* — гетеродин; *5* — усилитель промежуточной частоты изображения (34,25 *Мгц*); *6* — видеодетектор; *7* — видеоусилитель; *8* — блок восстановления постоянной составляющей; *9* — электронно-лучевая трубка; *10* — усилитель промежуточной частоты звука (27,75 *Мгц*); *11* — частотный детектор (иногда с амплитудным ограничением); *12* — усилитель низкой частоты; *13* — громкоговоритель; *14* — амплитудный селектор; *15* — генератор кадровой развертки; *16* — усилитель кадровой развертки; *17* — генератор строчной развертки; *18* — усилитель строчной развертки; *19* — блок питания.



приемника на частоту 84 *Мгц*, каковы будут величины разностных частот, полученных после преобразования частоты?

Н. — Для звука получим 84 — 56,25 = 27,75 *Мгц*, а для изображения 84 — 49,75 = 34,25 *Мгц*.

Л. — Ну вот, если настроить на эти частоты соответственно усилитель промежуточной частоты канала звука и канала изображения, то разделение произойдет без затруднений. Понятно?

Н. — Да, на этот раз все ясно. Но это поразительно, усилитель промежуточной частоты, настроенный на 34,25 *Мгц*.

Л. — Почему же? Когда речь идет о том, чтобы полоса пропускания была порядка 6 *Мгц*, трудно выбрать более низкую частоту. Кроме того, кривая избирательности усилителя промежуточной частоты должна отвечать тем же требованиям, которые предъявляются к усилителю высокой частоты в случае прямого усиления.

Н. — Что же нужно предпочесть, в конце концов?

Л. — Весы колеблются, но постепенно чаша с супергетеродином все больше перевешивает. Супергетеродин обычно более чувствителен и поэтому чаще рекомендуется для приема отдаленных передатчиков. Но по самому своему принципу он склонен создавать помехи, которые проявляются...

Н. — ... в виде свиста!

Л. — В радиовещании, да. Здесь же в виде параллельных полос, муара и других искажений. Зато желаемую кривую избирательности значительно легче получить в супергетеродине. И, таким образом, легче отделить звук от изображения. Однако нужно, чтобы гетеродин приемника был достаточно устойчивым. Если его частота немного меняется, то это почти не оказывает влияния на изображение, но гибельно для звука, полоса пропускания которого много уже, особенно в новом дециметровом диапазоне.

Н. — Что же в таком случае делать?

Л. — Можно пойти по пути увеличения стабильности частоты гетеродина. В современных телевизорах уже появляются схемы автоматической подстройки частоты гетеродина.

Однако существует более простой путь. Нужно отказаться от схемы усиления звука на самостоятельной промежуточной частоте и перейти на схему приема на биениях несущих частот. В этом случае схема канала звукового сопровождения будет совершенно идентичной со схемой на рис. 73. Так поступают практически во всех современных типах телевизоров.



Ты легко поймешь, что в такой схеме уход частоты гетеродина повлечет за собой совершенно одинаковый уход промежуточных частот звука и изображения, так что разность между ними сохранится равной 6,5 *Мгц*. Поэтому уход частоты гетеродина почти не скажется на канале звука.

Н. — Я об этом не подумал.

Л. — Это доказывает, что ты устал и лучше продолжить нашу беседу в другой раз.



БЕСЕДА ДВЕНАДЦАТАЯ

Усилить и продетектировать принятый сигнал в телевидении — значительно более трудная задача, чем в радиовещании. Высокая несущая частота и значительная ширина боковых полос в большой степени изменяют постановку задачи. Подойдя вплотную к систематическому изучению приемника, наши приятели рассмотрят в этой беседе элементы, относящиеся к высокой частоте, включая преобразователь и усилитель промежуточной частоты. В результате будут обсуждены: усиление и избирательность; необходимость большого количества каскадов усиления высокой частоты; шумы в телевидении; их уменьшение в результате предварительного усиления по высокой частоте; подавление зеркального сигнала; соотношение L/C в настроенных контурах; настройка катушек без сердечника, а также с ферромагнитным и медным сердечниками; шунтирующее сопротивление; цепи развязки; метод взаимно расстроенных контуров; контраст; преобразование частоты; генератор Колпитца; разделение звука и изображения.

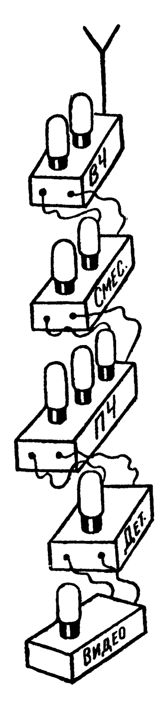
СЛАБЫЙ СИГНАЛ ДА БУДЕТ СИЛЬНЫМ

Хороши плохие контуры

Незнайкин. — Последний раз мы рассмотрели в самых общих чертах устройство телевизионного приемника, будь то с прямым усилением или с преобразованием частоты. Насколько я тебя знаю, Любознайкин, ты меня сегодня проведешь за руку по различным его элементам.

Любознайкин. — Было бы нехорошо с моей стороны обмануть твои ожидания. Если хочешь, рассмотрим цепь между антенной и электронно-лучевой трубкой, предназначенную для усиления сигнала, не затрагивая схемы синхронизации и питания.

Н. — Таким образом, нас интересуют в настоящий момент усиление высокой частоты, детектирование, затем усиление видеочастоты в случае приемника с прямым усилением. И, если речь идет о супергетеродине, мы должны будем изучить усиление высокой частоты, преобразование частоты, усиление промежуточной частоты, детектирование и усиление видеочастоты. По сравнению с радио имеется лишь одно различие: вместо низкой частоты мы имеем дело с видеочастотой.



Л. — Чтобы я больше никогда не слышал таких слов от тебя! Как ты можешь сравнивать радиовещание с боковыми полосами в десяток килогерц с телевидением, где полоса видеочастот составляет несколько мегагерц! Это в корне меняет принцип построения контуров.

Н. — Очевидно, речь не может идти о том, чтобы они были столь же избирательными, как и радио! Вот уж по крайней мере одной трудностью меньше.

Л. — Какое заблуждение! Если в проблеме приема в радиовещании господствует борьба между избирательностью и качеством, то в телевидении мы сталкиваемся с не менее острой борьбой между усилением и избирательностью.

Н. — Если я правильно понял, нам нужны контуры с очень малой избирательностью, чтобы они могли пропустить очень широкую полосу частот. Как подумаю, какими заботами приходится окружать контуры в радио, чтобы получить избирательность, мне начинает казаться, что не так уж трудно ее уменьшить. Вероятно, достаточно применить для этого плохие контуры.

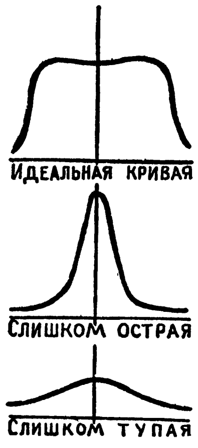
Л. — Это верно. Но, к несчастью, плохие контуры не дают возможности получить высокое усиление. В то же время мы стараемся добиться прежде всего, чтобы на трубку был подан видеосигнал в несколько десятков вольт при напряжении высокой частоты на входе часто ниже милливольта. Это значит, что общее усиление напряжения должно быть порядка 50 000.

Н. — Значит, именно поэтому в телевидении используется такое большое количество каскадов усиления?

Л. — Само собой разумеется.

Преимущества предварительного усиления высокой частоты

Н. — В общем в телевизоре с преобразованием частоты может быть несколько каскадов усиления высокой частоты, несколько каскадов промежуточной частоты и, наконец, еще несколько каскадов видеоусиления.



Л. — Больше двух каскадов видеоусиления применяют редко. Обычным является применение одного каскада высокой и трех-четырех каскадов промежуточной частоты. Впрочем, в их устройстве мало различия. Понимаешь, Незнайкин, когда каскады промежуточной частоты настраиваются на частоты выше 10 *Мгц*, они практически не отличаются от каскадов высокой частоты. Вот почему мы можем изучать их одновременно.

Н. — В таком случае я не вижу смысла в распределении усиления между каскадами высокой и промежуточной частоты. Не все ли равно, если применить супергетеродин с пятью каскадами промежуточной частоты.

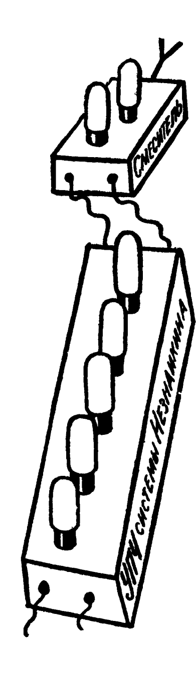
Л. — В дополнение к тому, что их усиление было бы невелико, вереница таких каскадов могла бы стать местом возникновения самовозбуждения. Распределяя усиление между двумя цепочками каскадов, настроенных на разные частоты, мы уменьшаем возможность появления такой опасности. Предварительное усиление высокой частоты обладает, впрочем, и другими преимуществами. Оно дает возможность уменьшить отношение шума к сигналу.

Н. — О каком шуме может идти речь в приемнике изображений?

Л. — Прошу прощения за употребление термина, который имеет смысл только в радиовещании. Там называют так неоднородность усиленного тока (флуктуации), проявляющуюся в виде шипящего шума, особенно различимого при отсутствии передачи. Причиной шума могут явиться тепловые флуктуации в сопротивлениях и колебательных контурах, а также неравномерность электронной эмиссии катодов.

Н. — Но ведь этот твой «шум» в телевидении не слышен!

Л. — Да, но зато он виден. Флуктуации усиленного напряжения, поданного на управляющий электрод трубки, добавляют к нормальным изменениям световой интенсивности пятна быструю паразитную модуляцию и создают то, что можно назвать «зерном изображения» (по аналогии с зернами фотографической эмульсии, которые становятся различимыми при большом увеличении).



Н. — Так, значит, предварительное усиление высокой частоты уменьшает этот «шум» изображений?

Л. — Да, так же как в радиоприемнике, оно уменьшает звуковой шум... И этим не ограничивается польза высокой частоты усилительных каскадов, включенных перед преобразователем частоты. Они уменьшают паразитное излучение гетеродина приемника через антенну и соответственно помеху соседним приемникам. Наконец, несмотря на малую избирательность, они уменьшают опасную интерференцию с соседними частотами.

Н. — Но при небольшом числе телевизионных передатчиков эта опасность не угрожает.

Л. — Количество телевизионных передатчиков уже достаточно велико. Кроме того, может происходить интерференция на зеркальных частотах.

Н. — Я припоминаю, что так называются частоты, расположенные относительно частоты гетеродина симметрично частоте принимаемого передатчика.

Л. — Какая прекрасная память! Ну так вот, если принимать сигнал с частотой 49,75 *Мгц* с гетеродином, настроенным на частоту 84 *Мгц*, чтобы получить промежуточную частоту 84 — 49,75 = 34,25 *Мгц*, то сигнал с частотой 118,25 *Мгц* даст в результате биений с тем же гетеродином промежуточную частоту 118,25 — 84 = 34,25 *Мгц*.

Н. — Так как сигнал с частотой 118,25 *Мгц* соответствует длине волны 2,54 *м*, мы оказываемся целиком в области метровых радиоволн.

Л. — Теперь ты видишь, какую опасность устраняют, используя избирательность каскадов высокой частоты, которые не пропустят сигнал с частотой, столь удаленной от частоты их настройки.

Схема с невидимыми элементами

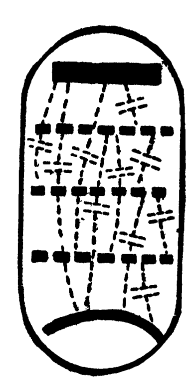
Н. — Ты мог бы начертить схему каскада усилителя высокой частоты?

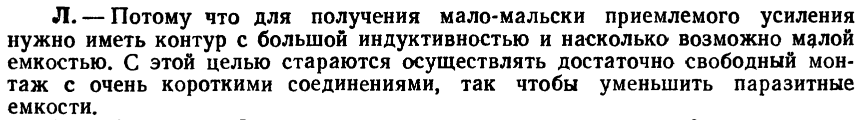
Л. — Вот схема (рис. 77), которую используют как перед преобразованием частоты, так и в приемниках с прямым усилением. Здесь применена классическая связь с помощью настроенного контура в анодной цепи.

Н. — Ты опять издеваешься надо мною, Любознайкин? Уж не хочешь ли ты заставить меня поверить, что катушка L_3 с сопротивлением R_5 составляют колебательный контур?!

Л. — Разве нам уже не приходилось говорить о «невидимых» элементах, которые участвуют в схемах в неявном виде? Это относится и к емкости, образующей настроенный контур с обмоткой L_3. Она состоит из суммы всех паразитных емкостей, включенных параллельно этой обмотке: ее собственной распределенной емкости, емкости монтажа, междуэлектродных емкостей ламп.

Н. — Но почему же не используют настоящий конденсатор, как в любом уважающем себя колебательном контуре?





Л. — Потому что для получения мало-мальски приемлемого усиления нужно иметь контур с большой индуктивностью и насколько возможно малой емкостью. С этой целью стараются осуществлять достаточно свободный монтаж с очень короткими соединениями, так чтобы уменьшить паразитные емкости.

Н. — А катушка L_2 также является настроенным контуром?

Л. — Да, так же как и L_3. На нашей схеме к тому же она индуктивно связана с антенной катушкой L_1.

Н. — Но как же практически настраивать такие колебательные контуры, если нет конденсаторов переменной емкости?

Л. — Изменяя их индуктивность. Обмотки без сердечника для таких высоких частот состоят из нескольких витков жесткой проволоки, образующих

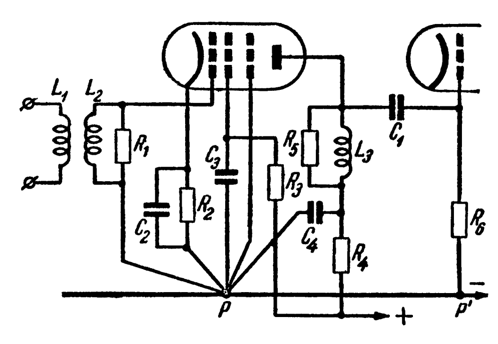
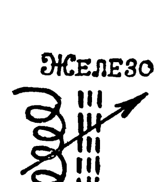


Рис. 77. Типовой каскад усиления высокой частоты.



соленоид. Достаточно слегка сблизить или раздвинуть эти витки, чтобы увеличить или уменьшить индуктивность. Но применяют также сердечники из порошкообразного железа или меди.

Н. — Ферромагнитные сердечники мне уже знакомы, так как их употребляют также и в радио. Но медь ведь не магнитный металл и я не понимаю, каким образом ее присутствие может изменить индуктивность обмотки.

Л. — Медный сердечник действует благодаря токам, которые индуктируются в его массе. Эти так называемые вихревые токи, или токи Фуко, создают магнитное поле, обратное магнитному полю катушек индуктивности. Все, следовательно, происходит так, как если бы индуктивность обмотки была меньше, чем в отсутствие медного сердечника.

Н. — Это мне напоминает мое посещение Пещеры разбойников...

Л. — Признаюсь, что связь мне непонятна.

Н. — Когда я отправился в эту пресловутую пещеру, я не чувствовал себя вполне спокойно. И вот, чтобы придать себе храбрости, я начал кричать. К несчастью, мне ответило эхо. И это меня так напугало, что я удрал оттуда, что было мочи.

Л. — Да, действительно, между вихревыми токами и твоим эхо существует некоторое сходство. Следует отметить, что действие сердечников из проводников (меди или латуни, например) совершенно противоположно действию магнитных сердечников, которые увеличивают индуктивность обмоток.



Н. — Однако, мне кажется, существует практическая трудность. Как регулировать положение этих сердечников, чтобы настроить контур на желаемую частоту? Ведь если перемещать их вперед или назад внутри обмотки при помощи отвертки, присутствие ее стального стержня полностью изменит настройку.

Л. — Очень дельное замечание. Потому-то регулировка выполняется с помощью отвертки из изолирующего материала.

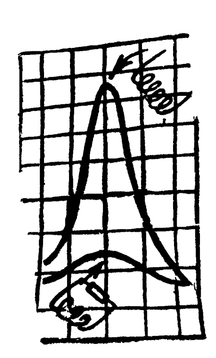
Н. — Можешь отметить, что ничто не ускользает от моего внимания! Но вернемся к нашей схеме. Параллельно колебательным контурам L_2 и L_3 ты включил сопротивления R_1 и R_5. Надеюсь, что они достаточно большой величины. В противном случае они поглотят добрую часть энергии колебательных контуров.

Л. — Нет, Незнайкин, эти сопротивления сравнительно небольшой величины, в среднем что-нибудь около 2000 *ом*. И, как ты очень правильно заметил, они поглощают энергию колебательных контуров. Происходит то, что в технике называют увеличением затухания контура. И именно увеличением

затухания добиваются более плоской кривой избирательности, чтобы расширить полосу пропускания.

Н. — Ты меня очень этим огорчаешь. В силу необходимости пропустить все модуляционные частоты приходится жертвовать и так уже ничтожными частицами энергии высокой частоты, собранными в колебательных контурах. И что же с этой энергией делают? Рассеивают в виде тепла в шунтирующих сопротивлениях! Этот способ обогревать помещения — неслыханное расточительство!

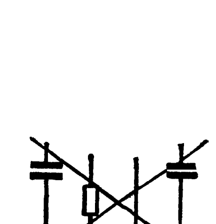
Л. — Увы, мы вынуждены так поступать. Теперь тебе понятно, почему усиление такого каскада невелико. Чтобы увеличить его, приходится применять лампы с большой крутизной[1]. К счастью, существуют пентоды с крутизной, достигающей 10 *ма/в*, которые благодаря этому дают возможность обеспечить приемлемое усиление.



Проблема заземления

Н. — В схеме, которую ты начертил, я вижу кое-что необычное. Ты всегда вычерчиваешь все вертикальные и горизонтальные соединения при помощи рейсшины и угольника. Но здесь имеется живописный пучок наклонных линий, сходящихся в одной точке шасси. Почему это?

Л. — Изобразив так все присоединения одного и того же каскада к минусу высокого напряжения, я хотел подчеркнуть необходимость особенно внимательно следить за устранением паразитных связей через общие цепи, намечая для переменных составляющих токов самые короткие пути. Обычай, распространенный при монтаже радиоприемников, присоединять к самым различным точкам шасси цепи, идущие к отрицательному полюсу источника высокого напряжения, в телевидении не может иметь места. Здесь переменные составляющие должны немедленно замыкаться в каждой цепи так, чтобы не было общих путей для токов различных каскадов в массе шасси. В противном случае — берегись самовозбуждения!



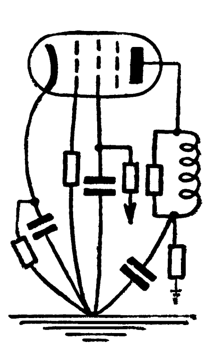
Н. — И, верно, я вижу, что экранирующая сетка лампы развязана с помощью R_3 и C_3, анодная цепь — с помощью R_4 и C_4 и что переменные составляющие через конденсаторы C_4 и C_3 соединяются в общей точке *P*, откуда через развязывающий конденсатор C_2, блокирующий сопротивление смещения R_2, они возвращаются к катоду.

Л. — По правде сказать, развязка была бы эффективнее, если бы C_3 и C_4 были присоединены прямо к катоду. Но монтаж легче производить, используя метод общих точек, специально выбранных в каждом каскаде. Таким образом, *P* в нашей схеме — общая точка заземления первого каскада.

Н. — Что же, теперь всегда нужно будет чертить таким образом телевизионные схемы?

Л. — В этом нет необходимости, если изложенный мною принцип уже известен и принят. Так, например, на рис. 78 и 79 я рисую обычным способом два других варианта схемы каскада высокой или промежуточной частоты.

Н. — Я без труда узнаю схему с настроенным контуром в цепи сетки (совершенно эквивалентную той, которую мы только что рассмотрели) и связь



[1] Припомним, что усиление каскада, т. е. соотношение между напряжениями на его входе и выходе,

$$K=\frac{R\mu}{R_i+R},$$

где R — сопротивление нагрузки;

R_i — внутреннее сопротивление лампы;

μ — ее коэффициент усиления

Разделив числитель и знаменатель на R_i, получаем:

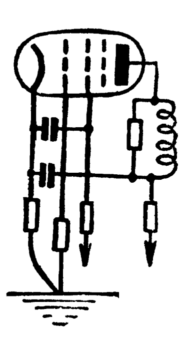
$$K=\frac{R\frac{\mu}{R_i}}{1+\frac{R}{R_i}}=\frac{RS}{1+\frac{R}{R_i}},$$

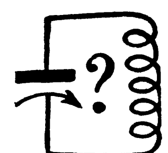
так как $\frac{\mu}{R_i}=S$ (крутизна лампы).

Если R очень мало по сравнению с R_i (как и в рассматриваемом случае), то отношением $\frac{R}{R_i}$ можно пренебречь по сравнению с единицей и усиление становится равным:

$$K = RS.$$

Если сопротивление анодной нагрузки равно, например, 1 200 *ом* и крутизна характеристики равна 8 *ма/в* (или 0,008 *а/в*), то усиление K = 0,008 · 1 200 = 9,6. Но при обычном пентоде, имеющем S = 1,5 *ма/в*, усиление упадет до K = 0,0015 · 1 200 = 1,8. Такой каскад был бы не очень полезен.





через трансформатор с настроенными первичной и вторичной обмотками. Стой, стой! Здесь у тебя фигурирует конденсатор настройки.

Л. — Да, потому что такая схема иногда используется в усилителе промежуточной частоты, где можно допустить использование небольших подстроечных конденсаторов.

Н. — Схема со связанными контурами, вероятно, имеет то преимущество, что улучшает избирательность всего устройства.

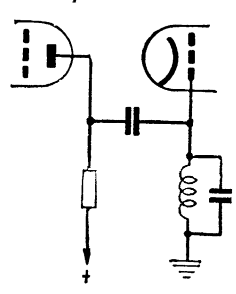


Рис. 78. Емкостная связь с настроенным контуром в цепи сетки.

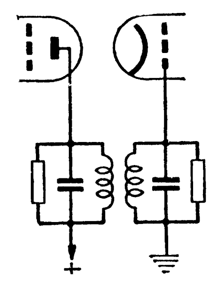
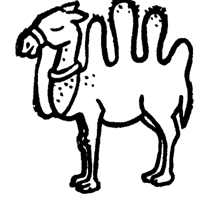
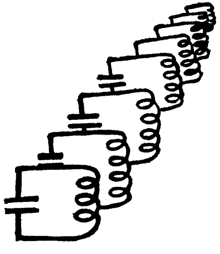


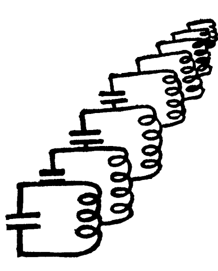
Рис. 79. Трансформаторная связь с настроенными первичной и вторичной обмотками.



Многогорбый верблюд

Л. — Бедный Незнайкин, ты продолжаешь думать и выражаться, как добропорядочный радиотехник. Но телевидение относится к радио так же, как радио к сильным токам. Нужно совершенно переменить способ мышления. «Улучшение избирательности», как ты мило выразился, для нас настоящее бедствие. А увеличение числа настроенных контуров ведет нас к этому самым роковым образом. Чтобы лучше тебя в этом убедить, я изобразил (рис. 80) кривую избирательности одного контура совместно с кривыми для двух, трех, четырех и пяти таких же контуров. Полоса пропускания становится, как видишь, все более и более узкой, а места для прохождения частот видеомодуляции — все меньшими и меньшими.





Н. — Это ужасно! Но раз ты демонстрируешь мне эту тягостную картину, я знаю, что у тебя есть в запасе какое-нибудь радикальное лекарство. Ну, называй же поскорее панацею.

Л. — Сместить настройку контуров (рис. 81)!

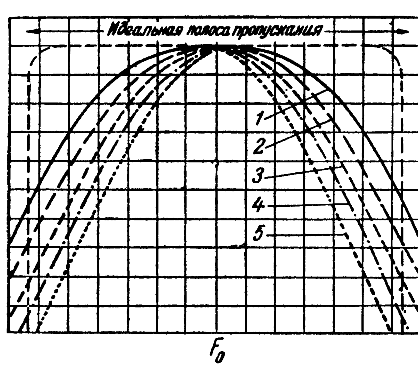


Рис. 80. Результирующие кривые избирательности 1, 2, 3, 4 и 5 контуров, настроенных на одну и ту же частоту f_0.

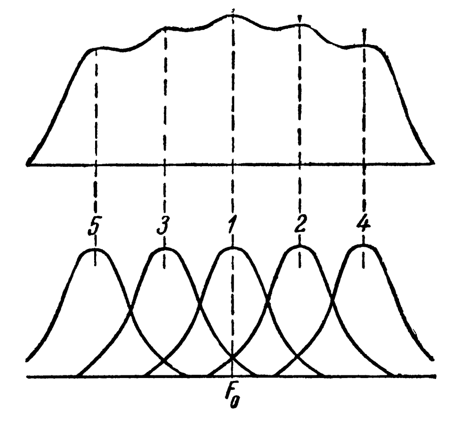


Рис. 81. Метод взаимно расстроенных контуров. Внизу — кривая каждого из пяти используемых контуров, вверху — результирующая кривая.

Н. — Как? Не настраивать цепи на одну и ту же среднюю частоту спектра модулирующих частот. Сделать сознательно то, что делают, не желая этого, плохие регулировщики радиоприемников?



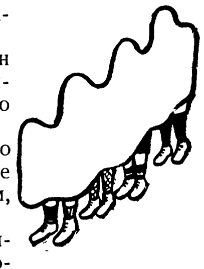
Л. — Вот именно. Распределяя соответствующим образом частоты настройки различных колебательных контуров, получают общую кривую избирательности, значительно приближающуюся к идеальной. Конечно, усиление от этого слегка уменьшается, но, не разбив яиц, не изжаришь яичницы.

Н. — Твои смещенные кривые напоминают мне, как в детстве мы с товарищами играли в верблюдов, становясь гуськом друг за другом и накрывшись простыней. Полученное таким образом весьма подвижное фантастическое животное очень походило на твою результирующую кривую... Практически так поступают только в усилителе высокой частоты?

Л.— Нет. Настройку контуров промежуточной частоты с таким же успехом смещают, как и настройку контуров высокой частоты. Действие этих расстроек складывается таким образом, что получается желаемая кривая.

Чувствительность и контраст

Н. — Мой вопрос покажется тебе, быть может, наивным. Но я хотел бы знать, имеет ли усилитель высокой или промежуточной частоты постоянный коэффициент усиления или же есть ручка, дающая возможность его регулировать.



Л. — Очень часто его делают регулируемым. Для этого применяют один из обычных способов, как, например, изменение потенциала первой сетки пентодов или, еще проще, изменение смещения путем регулировки катодного сопротивления.

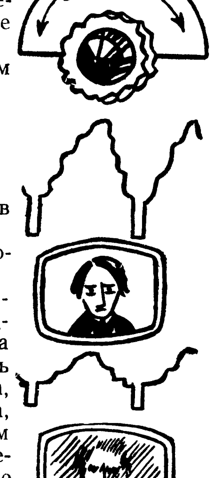
Н. — А каково действие регулировки чувствительности? Я полагаю, что оно проявляется в виде большей или меньшей яркости изображения. Так же как в радиоприемнике, где звук можно сделать более или менее сильным, изображение будет становиться более или менее ярким.

Л. — Ты очень сильно ошибаешься, Незнайкин. Средняя яркость дозируется простым изменением смещения на трубке. Впрочем, мы об этом поговорим позже. Регулировка же чувствительности изменяет амплитуду напряжения на управляющем электроде (или катоде) трубки. Когда амплитуда невелика...

Н. — ... изменения яркости пятна незначительны.

Л. — Очевидно. И, напротив, когда напряжение на управляющем электроде трубки сильно изменяется, пятно проходит через весь диапазон яркостей, начиная от самого сильного свечения, на какое способна трубка, до полного гашения луча.

Н. — Следовательно, в первом случае получают совсем серое изображение, тогда как во втором оно очень контрастно. Это, как фотоснимки, отпечатанные на «мягкой» или «жесткой» (контрастной) бумаге.



Л. — Сравнение вполне правильное. И ты не удивишься, узнав, что в телевизионном приемнике регулировка чувствительности носит гораздо более определенное название «регулировки контраста».

Н. — Мне кажется, что эта регулировка может с одинаковым успехом применяться в усилителях высокой и промежуточной частоты.

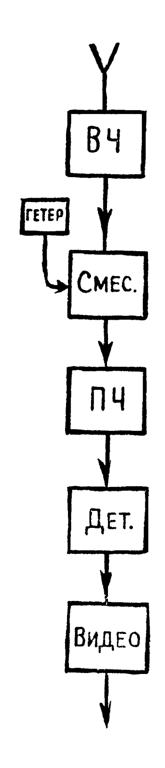
От высокой частоты к промежуточной

Л. — Конечно. Можно даже применять ее между этими усилителями в смесительной лампе в случае преобразования частоты двумя лампами.

Н. — А дает ли преимущество использование двухлампового преобразователя в телевидении?

Л. — Без всякого сомнения. При этом иногда используется то же устройство, что и в радиовещании, с двойной лампой типа триод-гексод или триод-гептод. Но усиление, получаемое с таким преобразователем частоты, весьма незначительно. Поэтому во многих приемниках предпочитают использовать в качестве смесителя пентод с большой крутизной; колебания гетеродина, генерируемые отдельным триодом, подаются либо на третью сетку пентода, либо на его первую сетку совместно с предварительно усиленным сигналом высокой частоты. В качестве примера рассмотрим схемы обоих типов преобразователей частоты с одной и двумя лампами (рис. 82 и 83). В случае приема по методу биения несущих частот отпала бы необходимость в трансформаторе промежуточной частоты звука.

Н. — В обеих схемах я узнаю обычные элементы: катодное смещение при помощи сопротивления R_1, развязанного емкостью C_1; напряжение экранирующей сетки определяется сопротивлением R_5, развязанным емкостью C_5; анодное напряжение подается на гетеродин через сопротивления R_3 и R_4 с развязкой C_4; анодная развязка смесителя R_6 и C_6.



Можно отметить, что элементы гетеродина выделены жирной чертой. В преобразователе с одной лампой я без труда узнаю схему Хартли. Отвод от средней точки контурной катушки так характерен! Но что это за генератор, который ты применил в схеме с отдельным триодом? Я вижу индуктивность L без всякого отвода...

Л. — Ее называют схемой Колпитса, и она также с отводом. Но только он сделан не от катушки, а от емкости контура. Видишь, емкость состоит из

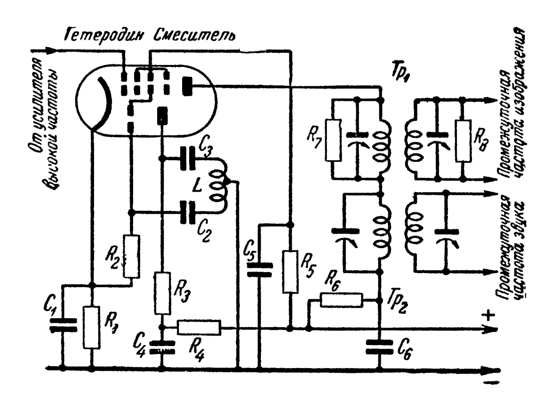
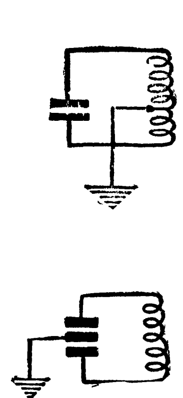


Рис. 82. Преобразователь частоты на триод-гексоде.



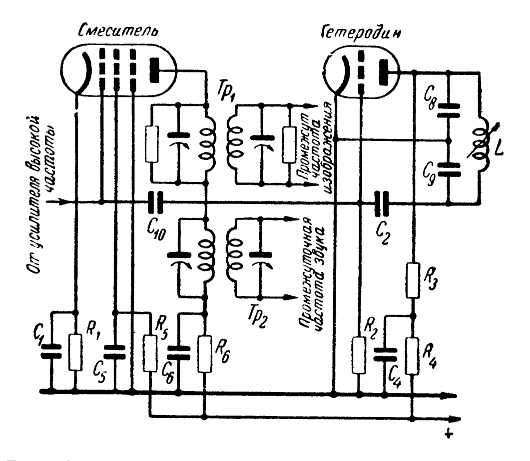
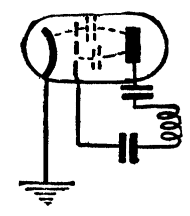


Рис. 83. Преобразование частоты с помощью двух ламп.



двух конденсаторов C_8 и C_9. Общая точка их соединения составляет «электрическую середину» общей емкости. Эта точка присоединена к катоду. Схема эквивалентна схеме Хартли, а ее ты знаешь хорошо.

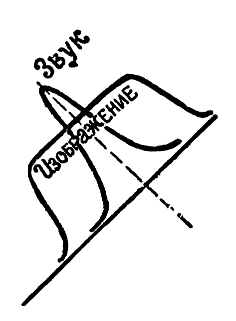
Н. — И, конечно, емкости C_8 и C_9 должны быть незначительными?

Л. — Настолько, что их часто просто не ставят.

Н. — Но тогда?! ...

Л. — Все прекрасно работает, потому что роль конденсатора C_8 берет на себя паразитная емкость анод — катод лампы, а емкость сетка — катод заменяет конденсатор C_9.

Звук без изображения и изображение без звука



Н. — В общем, телевидение дает возможность успешно использовать сами недостатки ламп, т. е. их междуэлектродные емкости... Однако я хочу вернуться к твоим схемам, чтобы отметить, что в анодной цепи смесителя ты последовательно включаешь два трансформатора промежуточной частоты. Один из них *(Тр)* настроен на промежуточную частоту изображения, а другой *(Тр₂)* — на промежуточную частоту звука. Почему у последнего нет шунтирующих сопротивлений?

Л. — Потому что контуры промежуточной частоты звука должны быть избирательными, следовательно, не должны иметь такого затухания, как контуры промежуточной частоты изображения. Поэтому можно создавать контуры с «реальными» конденсаторами.

Н. — Разве это единственный способ разделить напряжения промежуточной частоты звука и изображения?

Л. — Нет. Это можно осуществить разными способами. Вместо связи через трансформаторы с настроенными первичной и вторичной обмотками часто используют (рис. 84) связь с помощью анодных настроенных контуров L_1 для промежуточной частоты изображения и L_2C_2 для промежуточной частоты звука через конденсаторы C_1 и C_4, ведущие к сеткам ламп усилителей промежуточной частоты канала изображения и канала звука. Можно также подать обе составляющие промежуточной частоты на сетку одной лампы и осуществить разделение с помощью контура L_3C_3, настроенного на промежуточную частоту звука и включенного в катод (рис. 85).

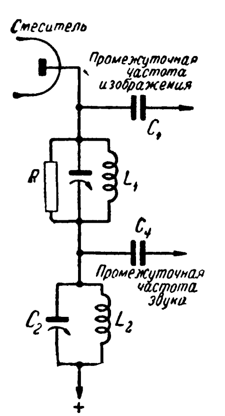


Рис. 84. Разделение сигналов звука и изображения в анодной цепи преобразователя частоты.

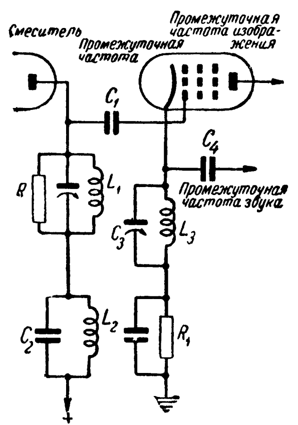
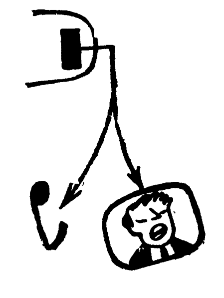
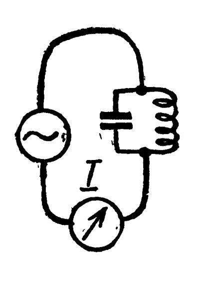


Рис. 85. Разделение сигналов звука и изображения с помощью избирательной отрицательной обратной связи в катодной цепи первой лампы усилителя промежуточной частоты.



Н. — Не представляю себе, как все это будет действовать.

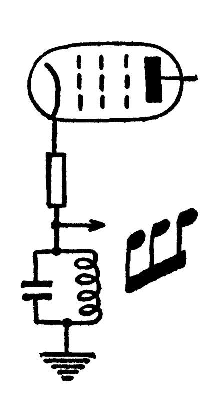


Л. — Но ты ведь знаешь, что настроенный таким образом контур легко пропускает токи всех частот.

Н. — ...кроме той, на которую он настроен. Ты уже давным-давно научил меня тому, как ведет себя параллельный резонансный контур.

Л. — Чудесно. Теперь ты понимаешь, что для всех сигналов, кроме сигнала промежуточной частоты звука, смещение определяется только сопротивлением R_1, которое дает возможность получить максимальное усиление. Так обстоит дело, в частности, для напряжения промежуточной частоты изображения, которое получают соответствующим образом усиленное в анодной цепи.

Н. — Я угадываю дальнейший ход рассуждения. Дело обстоит неважно для напряжения промежуточной частоты звука, так как для него контур L_3C_3 добавляет большое резонансное сопротивление к сопротивлению R_1. Следствием этого является значительное уменьшение усиления для этой злосчастной частоты.



Л. — Совершенно верно. Она будет таким образом практически исключена из анодной цепи. Благодаря же конденсатору C_4 можно подвести к сетке лампы усилителя промежуточной частоты звука напряжение, предварительно усиленное колебательным контуром L_3C_3.

Н. — Разве здесь не имеет место явление отрицательной обратной связи?

Л. — Да конечно, и даже, более того, явление избирательной отрицательной обратной связи.

Н. — Все это мне кажется дьявольски сложным!

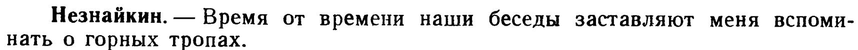
Л. — Просто ты еще не совсем освоился с этими методами. На самом деле все это очень просто. Избирательная отрицательная обратная связь часто используется для подавления данной частоты.

БЕСЕДА ТРИНАДЦАТАЯ

Продолжая систематическое исследование каскадов телевизора, Любознайкин и Незнайкин изучат детектирование (где им придется столкнуться с проблемой полярности) и усиление по видеочастоте (где паразитные емкости играют чрезвычайно пагубную роль). Здесь, как и в усилителях высокой и промежуточной частоты, также вынуждены жертвовать усилением для расширения полосы пропускания. Но существует возможность использования корректирующих устройств. Таким образом, содержание этой беседы составляют: детектирование положительной и отрицательной полярности; полярность видеосигнала при одном и двух каскадах видоусиления; параметры цепи детектора; двухтактная схема; величина усиления по видеочастоте; влияние паразитных емкостей; величина сопротивления нагрузки; последовательная, параллельная и смешанная схемы коррекции; результирующая частотная характеристика.

ОТ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ К ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ТРУБКЕ

По горным тропам





Незнайкин. — Время от времени наши беседы заставляют меня вспоминать о горных тропах.

Любознайкин. — Не потому ли, что трудности размышления напоминают тебе об опасных подвигах альпинистов?

Н. — Нет, я намекаю совсем не на это. Ты знаешь эти извилистые дороги, которые медленно поднимаются по склону горы и где все время кажется, что вновь и вновь проходишь по тем же местам, тогда как на самом деле непрерывно идешь вверх. И мне иногда кажется, что я опять повторяю курс радио, настолько понятия, которые мы рассматриваем, если можно так выразиться, «параллельны» понятиям из радиотехники. Разве в последний раз мы не говорили об усилении высокой и промежуточной частоты и о преобразовании частоты?

Л. — Принимая твое сравнение, я пойду еще дальше, утверждая, что по мере подъема открывающийся пейзаж меняет свой вид, становится все шире. И когда изучаешь схемы различных каскадов телевизора, сталкиваешься с трудностями более высокого порядка, чем в радио, потому что частоты передаваемого сигнала, как и несущие частоты, гораздо выше.

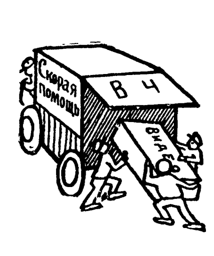
Н. — Не желая изображать из себя пророка, я все же скажу, что, по всей вероятности, мы пойдем теперь по тем участкам пути, которые на дорожных щитах носят название «Детектирование» и «Усиление низкой частоты».

Л. — Конечно, мы начнем сегодня беседу с проблемы детектирования. В самом деле, после того как принятый антенной сигнал был в достаточной степени усилен по высокой и, в ряде случаев, промежуточной частоте, пора извлечь модуляцию, которую он содержит. Нельзя терять из виду того, что роль высокой частоты — вспомогательная, это средство транспорта... очень быстрого, но не больше. Как нагружают грузовик, с тем чтобы сразу по прибытии к месту назначения разгрузить его, так и в передатчике вводят видеочастоты в несущий ток высокой частоты. Наконец, приходит время извлечь его оттуда, и в этом заключается задача детектирования.

Н. — А затем выпрямленный сигнал, мне кажется, будет усилен по низкой частоте?

Л. — Было бы по меньшей мере неправильно называть «низкой частотой» видеосигнал, состоящий из полосы частот от нуля до нескольких миллионов герц. Поэтому будет правильнее говорить об усилителе видеочастоты, или видеоусилителе.

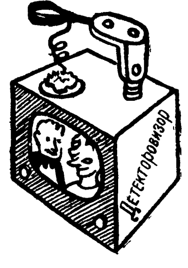
Вопрос полярности



Н. — Ты совершенно прав. Но не будем забегать вперед и, если ты ничего не имеешь против, начнем с детектирования. Я полагаю, что в телевидении мы можем использовать те же способы детектирования, что и в радио, т. е. при помощи кристалла, диода или лампы с тремя электродами, наконец, применить схемы сеточного или анодного детектирования.

Л. — Все это можно использовать. Но чаще всего встречается диод, значительно реже — анодное детектирование. Диод часто заменяют полупровод-

никовым детектором, который благодаря небольшой емкости и незначительному сопротивлению годится для детектирования очень высоких частот; именно поэтому его используют в радиолокации на сантиметровых волнах.



Н. — А схема диодного детектора, употребляемого в телевидении, отличается от детектора радиовещательного приемника?

Л. — Нет, ничем. Смотри сам (рис. 86). Напряжение высокой (или промежуточной) частоты колебательного контура, который образует катушка L с распределенной емкостью, приложено к диоду, включенному последовательно с цепью нагрузки RC. Ток в течение отрицательных полупериодов переменного тока не проходит, так как встречает запрещенное направление

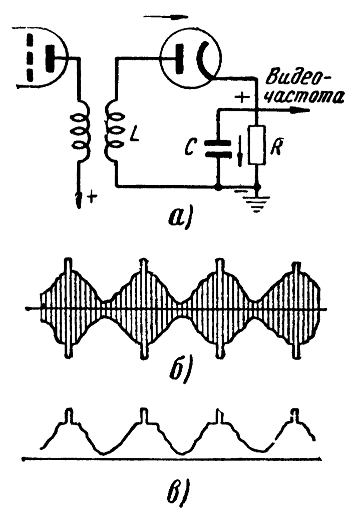


Рис. 86. Детектирование положительной полярности.

а — принципиальная схема; *б* — сигнал высокой частоты; *в* — видеосигнал после детектирования.

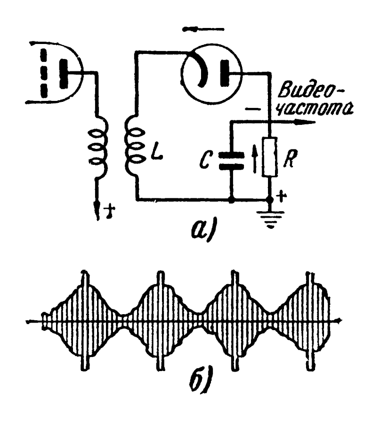
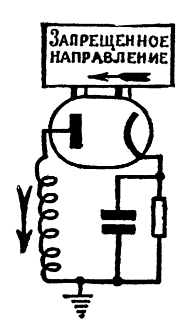




Рис. 87. Детектирование отрицательной полярности.

а — принципиальная схема; *б* — сигнал высокой частоты; *в* — видеосигнал после детектирования.

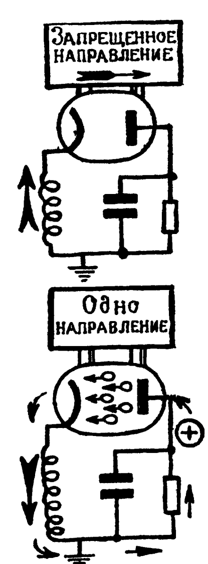




анод — катод, когда диод не проводит. Наоборот, ток за положительные полупериоды проходит в направлении стрелки.

Н. — Следовательно, если мы графически изобразим модулированный ток высокой (или промежуточной) частоты, то наш детектор сотрет все, что находится под горизонтальной осью и оставит только положительные полупериоды, которые, впрочем, теряют свою индивидуальность и благодаря накапливающему действию конденсатора C сливаются, превращаясь в напряжение видеочастоты.

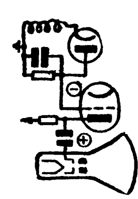
Л. — С удовольствием могу отметить, что ты ничего не забыл из когда-то мною рассказанного о радио. Заметь теперь, что можно не пропускать положительные полупериоды, а открыть путь только отрицательным (рис. 87). Стоит только включить диод в обратном направлении.



Н. — Какой смысл в схеме детектирования положительной полярности? Ведь при этом максимум тока видеочастоты, соответствующий самой большой яркости изображения, оказался бы в детектируемом напряжении наименьшей величиной. Такое напряжение, поданное на управляющий электрод приемной трубки, создало бы изображение, где белое оказалось бы черным и наоборот. У нас получилось бы..., ну, конечно, это было бы негативное изображение!

Л. — Твое рассуждение безупречно. Если подавать продетектированное напряжение непосредственно на управляющий электрод трубки, то нужно применять схему с детектированием отрицательной полярности.

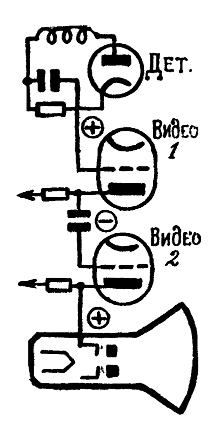
Однако, как мы уже говорили, можно подать детектированное напряжение не на управляющий электрод, а на катод трубки, что иногда оказывается более удобным. Как ты легко поймешь, в этом случае будет не негативное, а позитивное изображение. Кроме того, обычно между детектором и трубкой вводят один или два каскада видеочастоты, потому что величина продетектированного напряжения составляет лишь несколько вольт и недостаточна для полной модуляции. А ты знаешь, что каждый усилительный каскад изме-



няет полярность напряжения: положительный импульс на сетке вызывает на аноде уменьшение напряжения и наоборот.

Н. — Я угадываю, что последует. Имея один каскад видеочастоты и детектируя полупериоды положительной полярности, мы получим при подаче сигнала на управляющий электрод трубки позитивное изображение, а на катод трубки — негативное. При двух каскадах видеоусилителя все должно быть наоборот.

Л. — Запомни хорошенько, что видеосигнал, в котором синхронизирующие сигналы направлены в сторону уменьшения потенциала, называется позитивным видеосигналом, а в сторону увеличения — негативным видеосигналом. И не путай термина «позитивный сигнал» с термином «сигнал положительной полярности», каким является сигнал, целиком расположенный в области положительных значений потенциала. Так, например, позитивный сигнал, т. е. сигнал с синхросигналами, направленными в сторону уменьшения потенциала (или, что эквивалентно, в сторону увеличения отрицательного потенциала), весь может быть расположен в области отрицательных значений потенциала. В этом случае он будет называться позитивным сигналом отрицательной полярности. То же относится к терминам «негативный сигнал» и «сигнал отрицательной полярности».



Таким образом, термины «положительный» и «отрицательный» характеризуют абсолютное распределение потенциалов в сигнале, а «позитивный» и «негативный» — относительное их распределение.

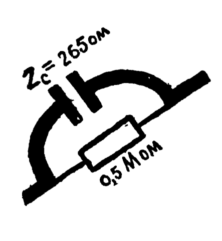
Н. — Вот по меньшей мере парадокс: чтобы получить позитивное изображение, в ряде случаев требуется негативный сигнал.

Величины уменьшаются

Л. — Не играй словами, Незнайкин. Попробуй лучше определить величины конденсатора *С* и сопротивления *R* нагрузки детектора.

Н. — Я думаю, что классические величины 100 *пф* и 0,5 *Мом*, применяемые во всех радиоприемниках, подойдут также и для телевидения.

Л. — Совершенно не разделяю твоего мнения. Подумай, что в детектируемом токе имеются частоты в несколько мегагерц. Можешь ты высчитать емкостное сопротивление твоего маленького конденсатора 100 *пф* на частоте 6 *Мгц*, например?



Н. — Дай подумать... Итак, ... получается 265 *ом*. Возможно ли это?

Л. — Безусловно. А что составляют эти 265 *ом* по сравнению с сопротивлением *R*, равным 0,5 *Мом*?

Н. — Очевидно, сопротивление окажется практически замкнутым накоротко конденсатором. Таким образом, напряжение на сопротивлении будет равно нулю и, значит, не будет передано на видеоусилитель.

Л. — Слишком поспешное заключение, дружище. Ведь низкие частоты видеосигнала будут продетектированы без заметного ослабления. Ослабление высоких частот скажется, следовательно, в отсутствии мелких деталей изображения, по крайней мере в направлении развертки по строкам. Получится размытое изображение, как это происходит всякий раз, когда по какой-нибудь причине ширина полосы передаваемых видеочастот уменьшается.

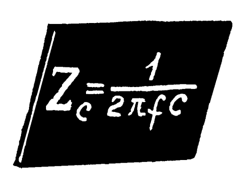


Н. — Что же делать? Следует ли значительно уменьшить емкость конденсатора *С*, для того чтобы даже на высоких частотах его емкостное сопротивление было достаточно большим?

Л. — Такое решение необходимо. Однако слишком далеко заходить тоже нельзя. Величина *С* должна быть больше емкости катод — анод диода, чтобы бо́льшая часть продетектированного напряжения выделялась на зажимах *С* и *R*. Используется обычно емкость около 20 *пф*. Учитывая наличие паразитных емкостей, достаточно использовать конденсатор 10 *пф*. Иногда его совсем не ставят, возлагая выполнение задачи на паразитные емкости.

Н. — Это, конечно, более экономично. Но мне кажется, что даже при 20 *пф* емкостное сопротивление окажется слишком малым (1 330 *ом* на частоте 6 *Мгц*) по сравнению с *R*.

Л. — Поэтому нужно значительно уменьшить величину этого сопротивления, например в пределах 1 000—4 000 *ом*.



Н. — Мне кажется, что при таком уменьшенном сопротивлении нагрузки к. п. д. детектора окажется далеко не блестящим.

Л. — Конечно, здесь мы далеки от того, чтобы получать, как в радио, 90% детектируемого напряжения (при условии, что глубина модуляции составляет 100%). Но, применяя специально сконструированные для телевидения диоды, имеющие одновременно небольшую емкость катод — анод и малое внутреннее сопротивление, можно получать на сопротивлении *R* добрую половину детектируемого напряжения.

Н. — В общем детектор имеет ту же схему, что и в радио, но с меньшими величинами сопротивления и емкости?!

Л. — Совершенно верно. Кроме того, гораздо чаще, чем в радио, за ним следует фильтр нижних частот, для того чтобы уменьшить остаточные составляющие высокой и промежуточной частоты (рис. 88).

Н. — Фильтр, который ты начертил, поразительно походит на фильтры питания.

Л. — Ничего удивительного в этом нет, Незнайкин, потому что в обоих случаях речь идет об уменьшении амплитуды составляющей более высокой частоты, чем частота используемого тока. Для этой составляющей индуктив-



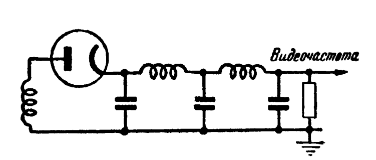


Рис. 88. Фильтр нижних частот для подавления составляющих высокой частоты после детектирования.

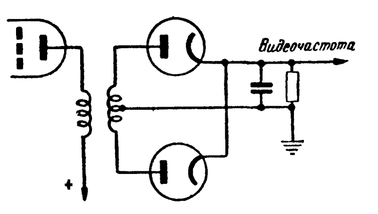
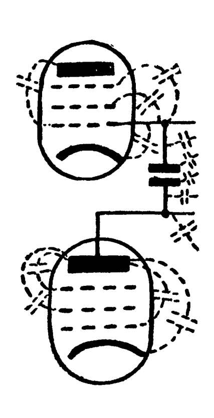


Рис. 89. Двухполупериодное детектирование симметричной схемой с двумя диодами.

ное сопротивление катушек очень велико, так как оно возрастает с частотой, а конденсаторы (емкостное сопротивление которых уменьшается с увеличением частоты) создают замыкающие цепочки.

Н. — Раз фильтр похож на классический фильтр питания, нельзя ли в детекторе использовать схему двухполупериодного выпрямителя, заставляя работать попеременно оба диода?

Л. — Твоя идея вполне осуществима. При условии установки на входе соответствующего трансформатора (рис. 89) к. п. д. такого детектора будет несколько выше.



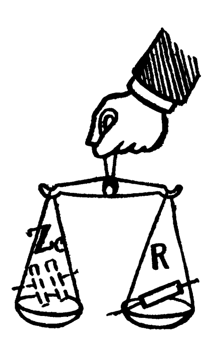
Видеочастота — это не низкая частота

Н. — Теперь, наконец, когда нам удалось извлечь благодаря детектору составляющую видеочастоты, остается только усилить ее. Я полагаю, что для этого применяют такие же методы, как в радиовещательных приемниках, с той, однако, разницей, что полоса усиливаемых частот достигает здесь нескольких миллионов герц. Я думаю, что при таких частотах паразитные емкости должны создавать серьезные затруднения.

Л. — И ты не ошибаешься. Но разница с низкой частотой не ограничивается проблемой усиления очень широкой полосы частот. К счастью, существуют два обстоятельства, облегчающие задачу. Во-первых, от усилителя требуется только напряжение, а не мощность, как в случае громкоговорителя. Впрочем, как ты увидишь, какая-то определенная мощность должна быть выделена на сопротивлении анодной нагрузки.

Н. — В общем здесь мы создаем вольты, а не ватты. Я это предпочитаю, так как расчеты в этом случае, без сомнения, проще. А какая вторая особенность усилителя видеочастоты?

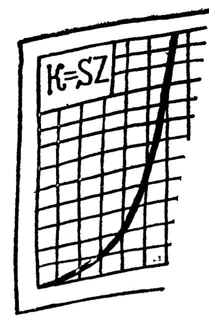
Л. — Тот факт, что не нужно большого усиления. Для полной модуляции яркости пятна обычно достаточно изменения напряжения на 20—30 *в*. Понятно, что я говорю о величинах, находящихся между уровнями черного и белого. На выходе детектора получается напряжение порядка 1 *в*. Таким образом, несмотря на неблагоприятные условия, в которых видеоусилитель работает, не позволяющие получить большой коэффициент усиления, в большинстве случаев достаточно одного каскада усиления. А это упрощает многие проблемы. Иногда, правда, используют два каскада.

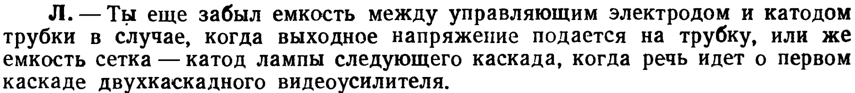


Н. — Мне кажется, что, как и при детектировании, неприятности определяются поведением емкостей на высоких частотах.

Л. — Да, конечно. В видеоусилителе применяется классическая схема на сопротивлениях (рис. 90). Параллельно сопротивлению нагрузки *R* оказывается включенной паразитная емкость *C* порядка 30 *пф*, состоящая из многих емкостей.

Н. — Я догадываюсь, что это емкость между анодом и другими электродами выходной лампы и емкости монтажа.





Л. — Ты еще забыл емкость между управляющим электродом и катодом трубки в случае, когда выходное напряжение подается на трубку, или же емкость сетка — катод лампы следующего каскада, когда речь идет о первом каскаде двухкаскадного видеоусилителя.

Н. — Очевидно, на частоте 6 *Мгц* вся эта совокупность паразитных емкостей будет представлять для анодного тока емкостное сопротивление меньше 1 000 *ом*. Если использовать сопротивление нагрузки R в 100 000 *ом*, как в радио, то все составляющие высоких частот пройдут через это своего рода емкостное короткое замыкание и усиление для них станет почти нулевым. Следовательно, мы потеряем все детали изображения.

Л. — Раз ты так хорошо разобрал причины болезни, тебе не трудно будет найти и лекарство.

Н. — Увы, опять, конечно, придется согласиться на жертву. Надо сильно уменьшить сопротивление нагрузки, так чтобы оно было сравнимо с емкостным сопротивлением C на самых высоких частотах. Очевидно, при R порядка 2 000 *ом* усиление будет очень малым. А при малом сопротивлении нужен будет значительный анодный ток, чтобы развить необходимое напряжение. Значит, лампа должна будет отдавать известную мощность.

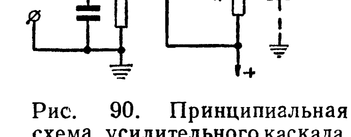


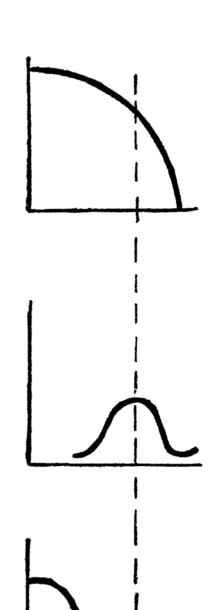
Рис. 90. Принципиальная схема усилительного каскада на сопротивлениях.

Л. — Все это верно. И, так же как в усилителе высокой или промежуточной частоты, здесь выгоднее всего использовать пентод с возможно большей крутизной, который, очевидно, должен быть достаточно мощным. Ведь и в этом случае усиление практически равно произведению крутизны на сопротивление нагрузки.

Н. — В общем телевидение основано на расточительстве во всех каскадах. Берут самые замечательные лампы и используют самую ничтожную часть их усилительных возможностей, то шунтируя колебательные контуры, что уменьшает их полное сопротивление, то уменьшая нагрузочные сопротивления. Какая жалкая техника!..

Л. — Не сетуй, Незнайкин, ведь, несмотря ни на что, телевизоры работают и, в частности, небольшого усиления видеоусилителя вообще-то хватает.

Для исправления кривой вводят коррекцию



Н. — Как обычно, мне хочется прибегнуть к аналогии с радио. Поэтому я задаю себе вопрос, нет ли средства исправить частотную характеристику видеоусилителя, подняв ее на высоких частотах?

Л. — Задавая себе такой вопрос, ты поступаешь правильно, потому что, действительно, такое исправление, как правило, практикуется. Для этого используют катушки небольшой индуктивности, которые включают параллельно или последовательно с паразитной емкостью, или же одновременно используют обе схемы включения. В случае «параллельной схемы коррекции» (рис. 91) катушка L_1, включенная последовательно с сопротивлением нагрузки R, оказывается настроенной при помощи емкости C. Подобрав соответствующим образом индуктивность катушки L_1, добиваются значительного улучшения частотной характеристики, поднимая ее на высоких частотах.

Н. — Я полагаю, что цепь L_1C настраивается на те высокие частоты, которые нужно усилить; таким образом, ее полное сопротивление, малое на других частотах, значительно возрастает на высоких и, добавляясь к сопротивлению нагрузки R, своевременно приходит на выручку, чтобы поднять усиление каскада.

Л. — Конечно. Более того, наличие корректирующей катушки L_1 нейтрализует в какой-то мере действие паразитной емкости C и дает возможность увеличить сопротивление нагрузки R и, следовательно, усиление для всей полосы частот.

Н. — В общем наша характеристика имеет более удовлетворительную форму и в целом несколько поднимается?

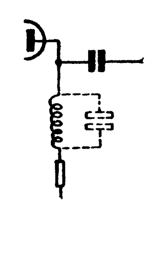
Л. — Правильно. Тот же или даже несколько лучший результат получается в «последовательной схеме коррекции» (рис. 92), где катушка L_2 помещена на выходе каскада таким образом, чтобы разделить паразитную емкость C на две части (C_2 и C_3). В некоторых случаях L_2 может содержать параллельно включенное сопротивление R_1 того же порядка, что и сопротивление R.

Н. — Это очень похоже на фильтр нижних частот.

Л. — Это действительно фильтр нижних частот, но пропускающий частоты вплоть до очень высоких. Настройка такой схемы довольно сложна. Чтобы она была действительно эффективной, нужно, чтобы емкости C_2 и C_3 находились в определенном соотношении. Ну, а с дикими паразитными емкостями нельзя ни в чем быть уверенным...

Н. — Ты, однако, говорил, что можно комбинировать оба только что рассмотренных способа коррекции.

Л. — Конечно. И когда она хорошо выполнена, «последовательно-параллельная схема коррекции» (рис. 93) весьма эффективна. Она дает прекрасную



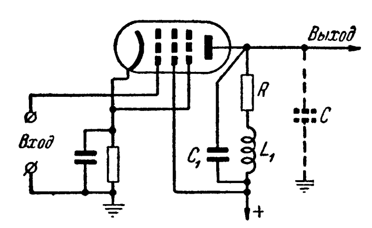


Рис. 91. Метод коррекции частотной характеристики с помощью катушки L_1, включенной параллельно паразитной емкости.

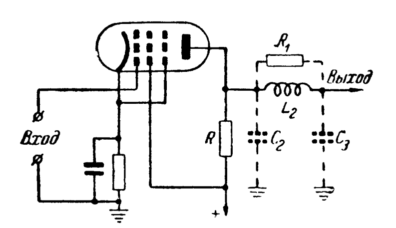
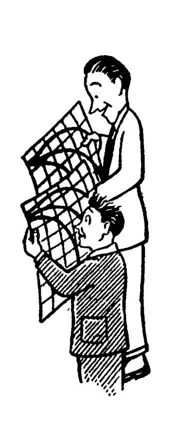


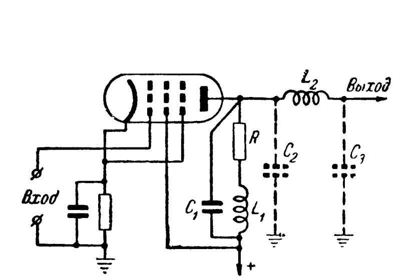
Рис. 92. Схема последовательной коррекции с помощью катушки L_2.

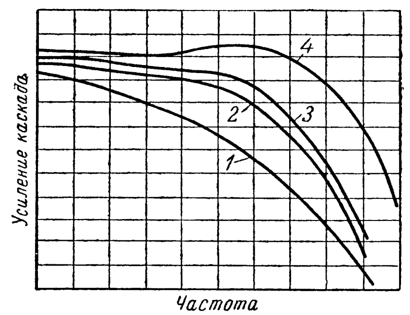
частотную характеристику (рис. 94) и позволяет поднять общее усиление путем дополнительного увеличения величины сопротивления R. Но нужно, чтобы все элементы были тщательно рассчитаны и выполнены.

Н.— Используют ли такие же схемы в двухкаскадных видеоусилителях?

Л. — Конечно. Кроме того, эти схемы коррекции могут применяться в цепи связи между детектором и каскадом видеочастоты.







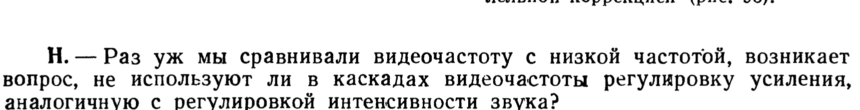


Рис. 93. Смешанная схема последовательно-параллельной коррекции катушками L_1 и L_2.

Рис. 94. Частотные характеристики видеоусилителя на сопротивлениях.

1 — без коррекции (схема на рис. 90); 2 — с параллельной коррекцией (рис. 91); 3 — с последовательной коррекцией (рис. 92); 4 — с последовательно-параллельной коррекцией (рис. 93).

Н. — Раз уж мы сравнивали видеочастоту с низкой частотой, возникает вопрос, не используют ли в каскадах видеочастоты регулировку усиления, аналогичную с регулировкой интенсивности звука?

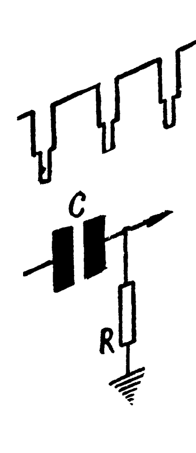
Л. — В некоторых телевизорах регулировка контраста осуществляется путем изменения усиления по видеочастоте. Конечно, эта регулировка выполняется не с помощью потенциометра в сеточной цепи, как в усилителях низкой частоты радиоприемников, так как емкость потенциометра привела бы к потере всех высоких частот. Чаще всего регулируется катодное смещение.

БЕСЕДА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

Пройдя через конденсатор связи, видеосигнал теряет постоянную составляющую. Результатом этого являются неточное воспроизведение среднего уровня яркости изображения и нарушение синхронизации. В некоторых случаях можно обойтись без конденсаторов связи. В других же приходится прибегать к восстановлению постоянной составляющей. Это и является предметом настоящей беседы, во время которой будут рассмотрены: прохождение сигнала через конденсатор; асимметричные сигналы; потеря постоянной составляющей; влияние на среднюю яркость изображения и синхронизацию; схема с непосредственной связью; восстановление постоянной составляющей с помощью диода; схемы включения восстанавливающего диода; смещение в случае униполярных сигналов.

ИСЧЕЗНОВЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Электроны качаются



Незнайкин. — Рассматривая в последний раз усиление на видеочастоте, ты особенно напирал на проблему наиболее высоких частот. Но на другом конце диапазона тоже должны быть трудности.

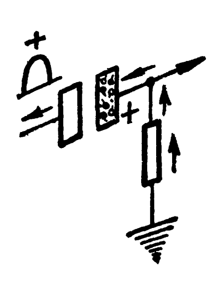
Любознайкин. — Что ты этим хочешь сказать?

Н. — Я спрашиваю себя, не вырождается ли в некоторых случаях видеосигнал в простое постоянное напряжение, например если изображением является просто однородный фон. Ведь постоянное напряжение не передается через конденсаторы связи между каскадами.

Л. — Трудность была бы реальной в отсутствие синхронизирующих импульсов, которые в конце каждого кадра вызывают скачок напряжения, вследствие чего видеосигнал не может иметь постоянной величины даже в случае, о котором ты говоришь. Конечно, нужно использовать переходные конденсаторы достаточной емкости, чтобы низкочастотные составляющие прошли без искажений. Но, как ты сказал очень кстати, конденсатор не может передать постоянное напряжение. И это создает известные трудности несколько другого порядка.

Н. — Если бы ты соблаговолил быть менее таинственным, мне удалось бы, вероятно, понять их и, кто знает, может быть и преодолеть.

Л. — Ну, что же, подумай немного, каким образом переменное напряжение передается в классической цепочке связи через конденсатор *C* с сопротивлением утечки *R*.



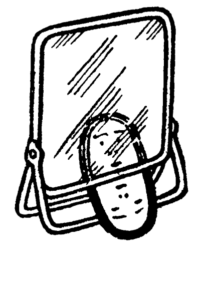
Н. — Мы это разбирали как-то, и нет ничего проще. Напряжение переменного тока подается на левую обкладку конденсатора. Во время положительного полупериода там образуется разрежение электронов. Поэтому ввиду притяжения, которое под действием положительных атомов (бедных электронами) испытывают электроны, они притягиваются к правой обкладке. Откуда же они могут появиться? Очевидно, из массы шасси. Они, следовательно, проходят через сопротивление *R* снизу вверх, создавая такое падение напряжения, что верхний его конец становится положительным. Все происходит таким образом, как будто ток в течение положительного полупериода реально прошел через конденсатор.

Л. — С той, однако, разницей, что если на переменную составляющую накладывается постоянное напряжение, а это так и бывает в анодной цепи, где существует высокое напряжение, то постоянная составляющая не передается через конденсатор. Что же происходит теперь с отрицательным полупериодом?

Н. — Электроны устремляются к левой обкладке и, следовательно, вытесняют электроны с правой, так как нет ничего более антагонистического для электрона, чем другой электрон. Изгнанные таким образом электроны направятся к массе шасси, проходя через сопротивление *R* таким образом, что верхний его конец становится отрицательным. И здесь опять все происходит так, как будто вместо конденсатора находится проводник.

Л. — Все это правильно. И ты замечаешь, что электроны легко и симметрично балансируют, как ребятишки на качелях.

Симметрия и равновесие



Н. — Я это знал уже давно. Зачем ты мне опять об этом напоминаешь?

Л. — Да потому, что в случае видеосигнала все происходит несколько по-иному.

Н. — Почему же?

Л. — Потому, что в отличие от формы модулированных сигналов высокой и сигналов низкой частоты, соответствующих звуковой передаче, сигналы видеочастоты асимметричны (рис. 95), т. е. не состоят из отрицательных и положительных полупериодов, похожих друг на друга, как отражение объекта в зеркале на сам объект.

Н. — Действительно, на выходе детектора видеосигнал в соответствии с полярностью детектирования будет или полностью положительным, или пол-

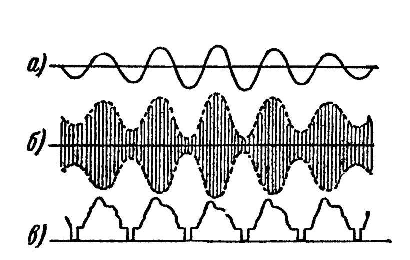


Рис. 95. Напряжения высокой частоты (*а*) и модулированной высокой частоты (*б*) симметричны, напряжение же видеочастоты (*в*) асимметрично.

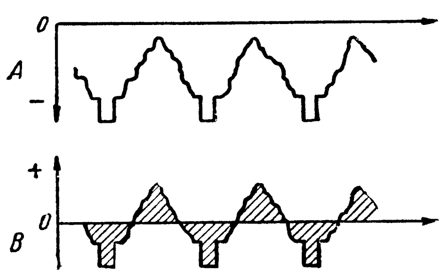
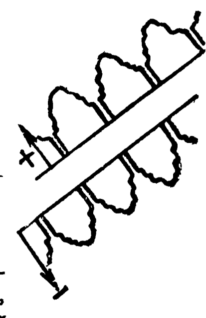


Рис. 96. Видеосигнал отрицательной полярности на выходе детектора имеет вид, представленный кривой *А*. После прохождения через переходный конденсатор он приобретает форму, представленную кривой *В*, у которой площади заштрихованных положительных и отрицательных полупериодов соответственно равны.



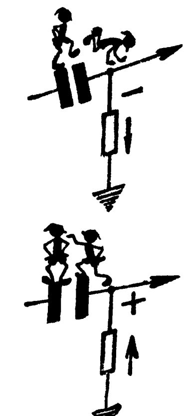
ностью отрицательным. Для сигналов такой формы не может быть проведена ось симметрии.

Л. — Попробуй теперь разобрать, каким образом такие сигналы будут передаваться цепочкой связи *CR* от детектора на видеоусилитель.

Н. — А какую взять полярность детектирования?

Л. — Будем считать, что речь пойдет о наиболее употребительном случае, когда приемник имеет только один каскад видеочастоты и напряжение подается на катод электронно-лучевой трубки. Детектирование будет тогда...

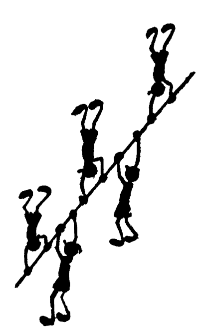
Н. — ... отрицательной полярности. У нас будет излишек электронов на левой обкладке, исключая короткие мгновения передачи самых ярких точек. Следовательно, из правой обкладки будет изгнано более или менее значительное количество электронов.



Л. — Совершенно верно. Когда детектированное отрицательное напряжение достигает максимума (верхушки синхронизирующих импульсов), наибольшее количество электронов удаляется из правой обкладки, чтобы направиться к массе шасси через сопротивление. В это время верхний конец сопротивления отрицателен.

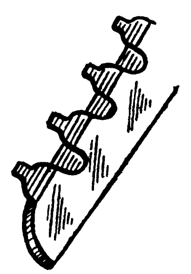
Н. — Я вижу, куда ты клонишь. Когда напряжения менее отрицательны, как, например, при передаче белого, часть выброшенных электронов возвращается к правой обкладке. Ток, который их туда переносит из массы шасси, идет в обратном направлении; вследствие этого верхний конец сопротивления становится положительным.

Л. — Ты видишь (рис. 96), что после конденсатора напряжение имеет ту же форму, что и детектированное, но оно уже неполностью отрицательно или положительно в зависимости от полярности детектирования. Хотя на сетке лампы видеоусилителя напряжение асимметрично, оно имеет положительные и отрицательные полупериоды, распределяющиеся должным образом вокруг нулевого потенциала.



Н. — А что ты называешь «должным образом»?

Л. — Так, чтобы общее количество электронов, покидающих правую обкладку (отрицательный полупериод), было равно количеству возвращающихся туда электронов (положительный полупериод). Как хороший бухгалтер, я

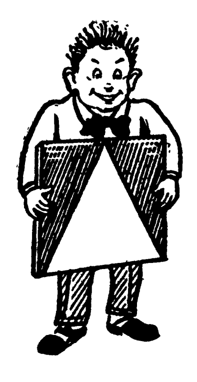


стараюсь уравновесить приход и расход. И если об этом поразмыслить, не прибегая даже к полному подсчету, то можно обнаружить, что эти количества электронов пропорциональны площади каждого из полупериодов.

Н. — В общем для нахождения оси с нулевым потенциалом нужно разделить ножом кривую на две части таким образом, чтобы она, если лезвие ножа совпадает с осью, сохраняла равновесие.

Л. — По крайней мере так можно проверить, правильно ли начерчена ось... Ты видишь, следовательно, что, пропуская детектированный сигнал через конденсатор связи, мы преобразовали его в переменный ток, лишив его определенной полярности, и, главное, сместили импульсы синхронизации с постоянного уровня.

Новые козни емкости



Н. — А это опасно?

Л. — Это катастрофично! Ибо в соответствии с формой сигнала, т. е. с видом передаваемого изображения, уровень верхушек импульсов будет изменяться. При этом нельзя будет обеспечить правильную синхронизацию. Кроме того, полутона изображения могут оказаться искаженными.

Н. — Почему же?

Л. — Чтобы дать тебе возможность лучше понять степень неприятности, я приведу конкретный и очень простой пример. Предположим, что изображение состоит из совершенно белого равностороннего треугольника на совершенно черном фоне. Попробуем начертить форму детектированного отрицательного видеосигнала (рис. 97) для трех строк развертки: одной — расположенной вверху, второй — в середине и третьей — внизу.

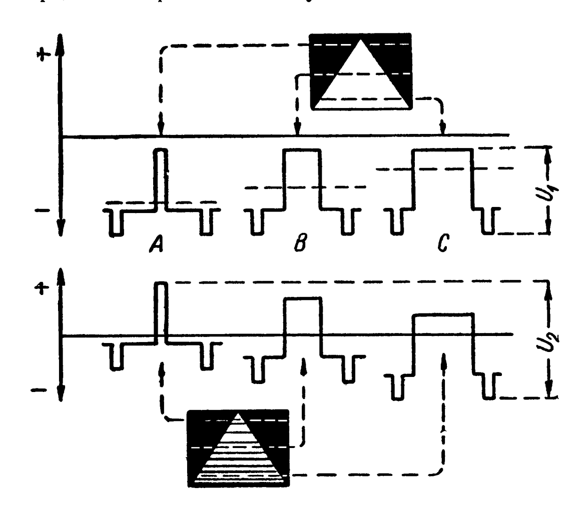
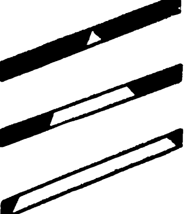


Рис. 97. Три строки изображения, вычерченного вверху, дают на выходе детектора напряжения *A*, *B* и *C*, показанные на первом графике. После прохождения через конденсатор эти напряжения смещаются в соответствии со вторым графиком. Если не принять соответствующих мер предосторожности, то изображение на экране приемника будет иметь вид, показанный внизу.



Н. — Это нетрудно. В первой строке синхронизирующий импульс составит 100% максимальной амплитуды, затем следует сигнал черного на уровне 75%, за исключением короткого пика с уровнем 15%, соответствующего вершине белого треугольника. Для средней строки площадки на уровне черного сокращаются в пользу площадки, соответствующей уровню белого. И уровень белого занимает почти все место в последней строке.



Л. — Прекрасно. Можешь ли ты теперь начертить пунктиром для каждой из трех строк ось нулевого потенциала так, как она расположится после прохождения сигналов через конденсатор?

Н. — Конечно. Я думаю, что мои площадки не так уж плохо уравновешены.

Л. — Продолжим наши графические упражнения. Не нарисуешь ли ты вновь эти же сигналы так, как они будут расположены по отношению к нулевой оси после прохождения через конденсатор связи.

Н. — Это нетрудно.

Л. — Ты можешь установить теперь, что верхушки импульсов синхронизации находятся на разных уровнях, что помешает правильной работе схемы синхронизации. Но это еще не все; если подать сигналы в таком виде на катод трубки и добиться правильной градации тонов от черного до белого для первой строки, то соотношение полутонов для остальных строк уже не будет

соблюдаться. То, что должно быть белым на средней строке, будет серым, а белый участок на последней строке окажется еще более темно-серым. В конце концов треугольник будет уже далеко не равномерно белым. Чем ниже, тем он будет темнее.

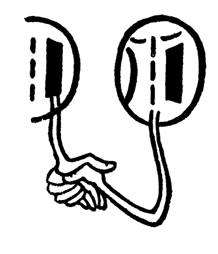


Долой конденсаторы!

Н. — Я совершенно обескуражен. В общем идет ли речь о паразитных емкостях или явно выраженных конденсаторах, все они играют самую роковую роль в телевидении. А что если их совсем изъять?

Л. — То, что ты говоришь в шутку, в действительности осуществляется в некоторых схемах с так называемой прямой или непосредственной, или, как еще говорят, гальванической связью. Ничто не мешает изъятию переходного конденсатора между детектором и сеткой лампы видеоусилителя.

Несколько сложнее осуществить прямую связь между анодом лампы усилителя и, например, управляющим электродом трубки. При отсутствии конденсатора управляющий электрод окажется под высоким положительным потенциалом анода лампы видеоусилителя (рис. 98).



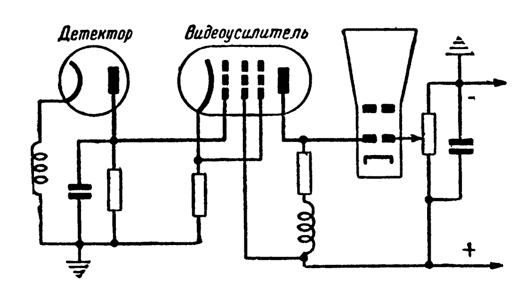
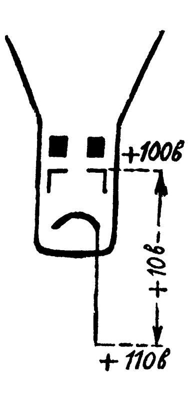


Рис. 98. Простейшая схема передачи постоянной составляющей с использованием непосредственной связи между каскадами, следующими за детектором.

Н. — Но это невозможно! Разве ты мне не говорил, что потенциал управляющего электрода должен быть отрицательным относительно катода, так же как и сетка триода?

Л. — Верно. Поэтому в такой схеме подают на катод трубки постоянный положительный потенциал несколько выше потенциала управляющего электрода. Благодаря этому сетка оказывается отрицательной относительно катода.



Н. — Вот и нет переходных конденсаторов! Я не думал, что решение окажется столь простым.

Л. — Не радуйся преждевременно. На самом деле это совсем не так просто. Схема, которую я тебе описал, имеет и серьезные недостатки. Жизнь электронно-лучевой трубки, в частности при непосредственной связи с управляющим электродом, подвергается некоторой опасности.

Н. — Но почему же!

Л. — Предположим, что по каким-либо причинам, хотя бы вследствие перегорания нити, лампа видеоусилителя перестанет работать. При этом напряжение на ее аноде значительно повысится, потому что в отсутствие анодного тока нет больше и падения напряжения на сопротивлении нагрузки.

Н. — Я вижу, в чем трагедия. Напряжение на аноде, а значит, и на управляющем электроде трубки окажется равным напряжению источника анодного питания. На управляющем электроде появится высокий положительный потенциал относительно катода. Последний потеряет эмиссию и окажется пригодным лишь для мусорного ящика. Что же делать?

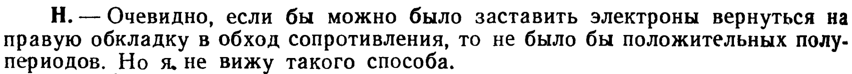
Л. — Существуют другие схемы с прямой связью, где этот дефект, как и некоторые другие, может быть устранен. Так, например, если видеосигнал подать не на управляющий электрод, а на катод, то трубка окажется в безопасности. Впрочем, существуют и другие способы, кроме прямой связи, чтобы восстановить форму видеосигнала после его прохождения через переходный конденсатор.

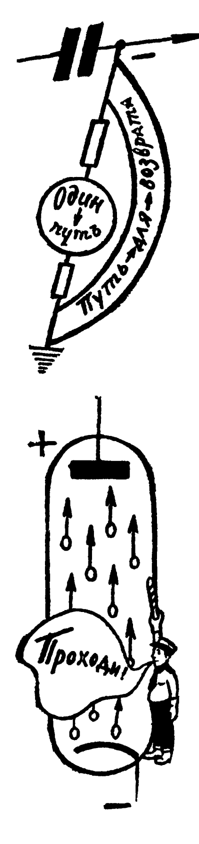


Простой способ восстановления

Н. — Хотел бы я с ними познакомиться, если только они не окажутся много сложнее улучшенных схем с непосредственной связью.

Л. — Ты ведь уже заметил, что причиной всех неприятностей из-за переходных конденсаторов является наличие токов в двух направлениях через сопротивление. Падение напряжения, обусловленное этими токами, и является причиной возникновения положительных и отрицательных полупериодов.





Н. — Очевидно, если бы можно было заставить электроны вернуться на правую обкладку в обход сопротивления, то не было бы положительных полупериодов. Но я не вижу такого способа.

Л. — Однако такой способ существует и он сравнительно прост. Достаточно включить параллельно сопротивлению диод, катод которого соединен с нижней точкой сопротивления при негативном видеосигнале, и с верхней при позитивном (рис. 99).

Н. — Я об этом не подумал! Я понимаю, что в этих условиях электроны, изгнанные с правой обкладки, могут пройти на массу шасси только через сопротивление, так как диод в этом направлении не может их пропустить.

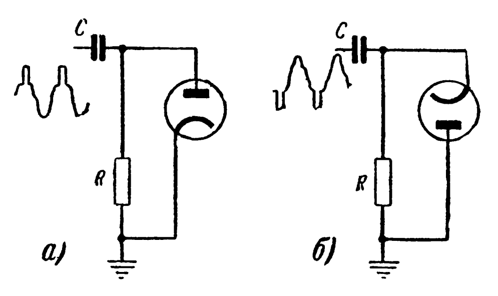


Рис. 99. Схема включения восстанавливающего диода.

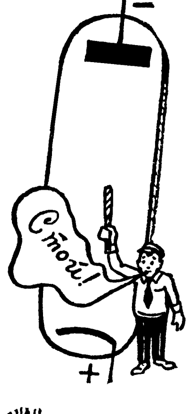
а — негативный сигнал; *б* — позитивный сигнал.

Следовательно, они создадут требуемое отрицательное напряжение. Но, чтобы вернуться к обкладке, электроны вместо высокого сопротивления *R* выберут гораздо более легкий путь через промежуток катод — анод диода. И на этом малом сопротивлении появится совершенно незначительное положительное напряжение.

Л. — В действительности протекающие в этой элементарной цепи явления не так просты. Электроны, образующие заряд конденсатора *C*, не могут мгновенно стечь через сопротивление *R*. Роль диода, следовательно, заключается в том, чтобы создать на правой обкладке конденсатора достаточный заряд. Тогда весь видеосигнал окажется в области отрицательных напряжений и лишь синхронизирующие импульсы будут достигать нулевого уровня. Благодаря действию диода нулевой уровень окажется не средним, а максимальным значением сигнала.

Н. — Разве электроны проходят через диод при каждой кадровой развертке?

Л. — Необязательно, если напряжение следующих друг за другом кадров имеет одинаковую форму или, точнее, создает один и тот же заряд, диод будет бездействовать после соответствующего заряда конденсатора. Но если появится более значительное количество электронов, то диод пропустит их для пополнения заряда. А когда заряд будет уменьшен, избыток электронов стечет через сопротивление *R*. Во всяком случае восстанавливающий диод...

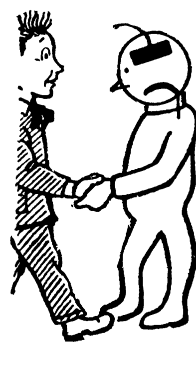


Н. — Его так и называют?

Л. — Да, я забыл тебя познакомить с ним. Так вот, имею честь представить тебе диод для восстановления постоянной составляющей, как его официально называют.

Н. — А что это за постоянная составляющая, о которой идет речь?

Л. — Напряжение одной полярности (полностью положительной или полностью отрицательной), каким оно получается после детектирования, может рассматриваться (рис. 100) как сумма



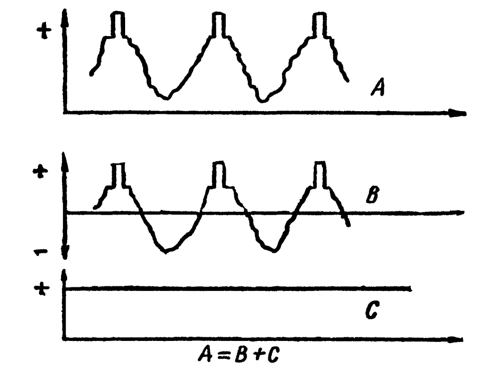


Рис. 100. Видеосигнал положительной полярности, представленный на графике *A*, может рассматриваться как сумма симметричного сигнала *B* и постоянной составляющей *C*.

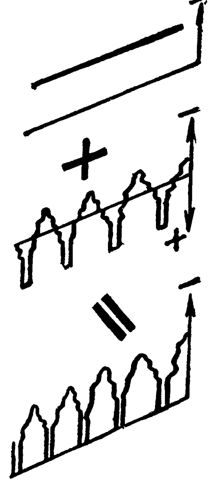
двух напряжений: переменного, имеющего такую форму, какая получается после прохождения через переходный конденсатор, и постоянного соответствующего знака и достаточной величины, чтобы после сложения переменное напряжение оказалось полностью в области положительных или соответственно отрицательных напряжений.

Н. — Я догадываюсь, впрочем, что это постоянное напряжение равно тому, которое я начертил пунктиром на своем чертеже, чтобы разделить на равные поверхности кривую видеосигнала.

Л. — Ты еще раз прав, Незнайкин.

Н. — Мы рассмотрели случай напряжения отрицательной полярности. Как же нужно действовать в противоположном случае?

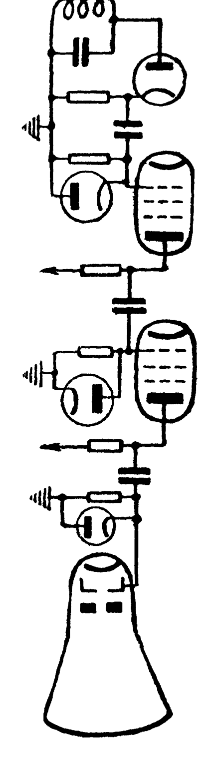
Л. — Нет ничего более простого. Если напряжение имеет положительную полярность, то переверни диод, т. е. присоедини анод к шасси, а катод — к верхнему концу сопротивления. Выполни для этого случая весь ход наших рассуждений, и ты увидишь, что схема работает так же хорошо... и, сверх того, ты проделаешь хорошую мозговую гимнастику.



Диоды здесь, диоды там...

Н. — В каком месте цепи видеочастоты нужно восстанавливать постоянную составляющую? Я думаю, что достаточно сделать это на выходе последнего каскада усилителя в цепи связи с трубкой.

Л. — Можно было бы этим удовольствоваться при условии, конечно, что импульсы синхронизации будут выделены в этой точке, что часто и делают. Но можно также использовать несколько восстанавливающих диодов: один — после детектора, другой — после видеоусилителя, и если имеются два каскада видеочастоты, то третий диод — после второго каскада.



Но вернемся к примеру, который мы только что рассмотрели (рис. 97). Разве ты не видишь, что при отсутствии диода область напряжений U_2, занятая сигналами, значительно превышает область U_1, которой достаточно, когда верхушки импульсов синхронизации выравнены благодаря действию диода?

Н. — А почему нужно избегать этого растягивания сигналов по шкале напряжений?

Л. — Потому что видеоусилители работают в малоблагоприятных условиях и нет смысла давать им переваривать сигналы, растянувшиеся в столь обширной области сеточных напряжений. Конечно, при достаточно малых амплитудах действующих сигналов не следует злоупотреблять диодами.

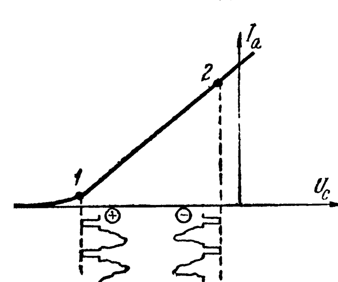
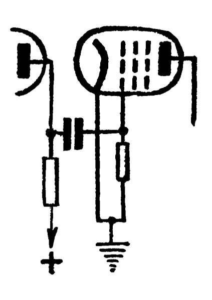


Рис. 101. Смещение каскада видеочастоты должно так устанавливаться, чтобы униполярный сигнал находился на прямолинейном участке характеристики (показан выбор рабочей точки для случаев позитивного и негативного сигналов).

Н. — Интересно, каким же образом нужно подавать смещение на лампы видеоусилителя, когда речь идет об усилении асимметричных и особенно «униполярных» сигналов?

Л. — Вопрос поставлен правильно. Действительно, в этом случае бесполезно устанавливать рабочую точку посередине прямолинейной части характеристики в области отрицательных сеточных напряжений. Рабочая точка для негативного сигнала выбирается в области нуля или несколько менее 1 *в* (рис. 101). А если речь идет о позитивном сигнале, то рабочая точка должна быть установлена на самом отрицательном конце прямолинейной части. В обоих случаях благодаря такому смещению для сигнала будет использована максимальная протяженность прямолинейной части характеристики.

Н. — Подводя итоги, можно сказать, что в конкретном случае приемника с одним каскадом видеочастоты при подаче модулирующего напряжения на катод электронно-лучевой трубки нужно детектировать отрицательные полупериоды. При этом достаточно одного восстанавливающего диода, включенного параллельно сопротивлению утечки трубки.



Л. — Заметь еще для будущего, что в случае негативного видеосигнала промежуток катод — сетка лампы может заменить диод. Когда мы анализировали механизм сеточного детектирования, помнишь, мы установили, что сетка лампы без сеточного смещения может играть роль анода диода. В случае негативного видеосигнала сетка и катод оказываются включенными так, что могут заменить восстанавливающий диод.

БЕСЕДА ПЯТНАДЦАТАЯ

Этот диалог двух наших приятелей будет необычно длительным. Обсуждаемый вопрос действительно заслуживает особого внимания. Речь идет о методах выделения синхронизирующих импульсов из полного видеосигнала, а также разделения строчных и кадровых импульсов. Изучение этих вопросов приведет Любознайкина к анализу замечательных свойств очень простой цепи, состоящей из последовательно включенных сопротивления и конденсатора. Попутно приятели рассмотрят следующие вопросы: необходимость разделения; ограничение; место амплитудного селектора; амплитудный селектор с параллельным и последовательным диодом; схема на пентоде; вопросы полярности; применение восстанавливающего диода; преобразование длительности в амплитуду; дифференцирование и интегрирование; влияние постоянной времени; форма дифференцированных и интегрированных сигналов; практические схемы.

ВЫДЕЛЕНИЕ И РАЗДЕЛЕНИЕ

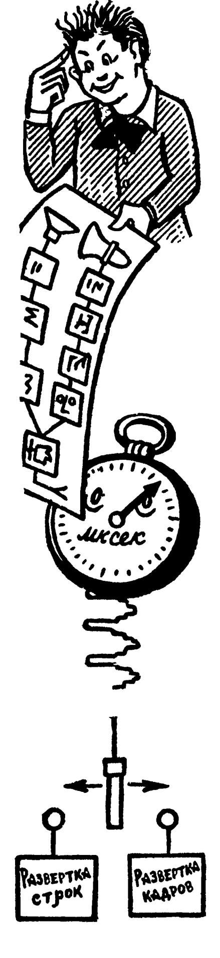
Амплитудное ограничение

Незнайкин. — Мне кажется, что теперь я знаю все.

Любознайкин. — Все? Что означает это полное скромности утверждение?

Н. — Я хочу сказать, что теперь я знаю все каскады телевизора от усилителя высокой частоты до последнего каскада видеоусилителя, соединенного с электронно-лучевой трубкой. И, кроме того, я ничего не забыл о развертывающих устройствах. У меня приятное чувство, что я знаю, наконец, всю совокупность этой сложной техники, которая...

Л. — Не обольщайся, бедный мой Незнайкин. Тебе предстоит еще многое изучить. Ну, хотя бы методы синхронизации тех самых развертывающих устройств, о которых ты так кстати заговорил.



Н. — Я теперь припоминаю, что импульсы в конце строк и кадров служат для синхронизации развертывающих устройств приемника с развертками передатчика. Но разве недостаточно для этого подать на развертывающие устройства полный видеосигнал?

Л. — Это имело бы самые неприятные последствия. Смесь сигналов изображения с синхронизирующими импульсами запускала бы каждое из развертывающих устройств в самые неподходящие моменты. В этой области техники, где время исчисляется долями микросекунды, все должно быть четким и ясным. Каждая развертка должна получать только строго для нее предназначенные импульсы, причем любой другой сигнал должен быть исключен. Начало каждого разряда может определяться часто даже малейшими флуктуациями напряжения на сетке разрядной лампы.

Н. — Я вижу, куда ты клонишь: к необходимости отделить сигналы синхронизации от собственно видеосигнала. Впрочем, когда мы пробовали начертить общую схему телевизора, ты там как раз и предусмотрел для этого каскад амплитудного селектора.

Л. — Надеюсь, что ты без труда угадаешь принцип, позволяющий производить разделение.

Н. — Мне кажется, что речь идет о чем-то вроде электронного переключателя, который в нужные моменты подает сигналы на соответствующие развертки. Например, в конце каждой строки напряжение прикладывается к развертке «строки» и...

Л. — Нет, Незнайкин, твой переключатель было бы очень трудно создать, так как для правильного функционирования его самого нужно было бы синхронизировать. Ты попадаешь в порочный круг со своим проектом... Не видишь ли ты другого средства разделения сигналов изображения и синхронизирующих импульсов, основанного, например, на коренном различии между этими двумя типами сигналов?

Н. — Это различие, очевидно, заключено в разности амплитуд...

Л. — Это, конечно, основное. Теперь ты на верном пути. Продолжай.

Н. — В негативном видеосигнале импульсы синхронизации занимают промежуток между 75 и 100% полного размаха видеосигнала. Все, что ниже этого, т. е. между 75 и 0%, соответствует всей гамме яркостей от черного до белого. В позитивном же видеосигнале синхроимпульсы занимают область от 0 до 25% полного размаха. Значит, нужно только отсечь напряжения, превышающие 75% или расположенные ниже 25%, в зависимости от полярности видеосигнала, чтобы остались одни синхроимпульсы.

Л. — Вполне правильные рассуждения, Незнайкин! Нужно чем-то вроде ножа отсечь в полном сигнале все, что выше 75% или ниже 25% и что отве-

дено для синхроимпульсов. Такую ампутацию части напряжения называют амплитудным ограничением.

Н. — И каким же образом это осуществляют?

Границы терпения



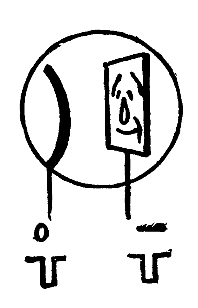
Л. — Сигналы подают на лампу, которая милостиво усиливает до какого-то уровня, но отказывается переходить эту границу.

Н. — Как мой дядюшка, терпеливо переносивший, когда я был мальчишкой, мою игру на трубе, но выходивший из себя, как только я пробовал применять свои таланты к упражнениям на барабане... Но какой тип ламп также имеет границы терпения?

Л. — Обычно используются пентоды. Но избыток сеток необязателен и в более дешевых устройствах простой диод худо ли бедно ли выполняет эту задачу.

Н. — А где располагают амплитудный селектор?

Л. — Теоретически можно на него подавать напряжение сигнала до детектирования, потому что, ограничивая, он одновременно и детектировал бы. Но работал бы такой амплитудный селектор недостаточно надежно. Выгоднее подавать на него сигналы с возможно большей амплитудой. Поэтому селектор включают в конце цепи усиления, например на выходе последнего каскада видеоусиления, или в редких случаях, когда схема без видеоусилителя, на выходе детектора.



Н. — Значит ли это, что подаваемый на селектор видеосигнал может быть как позитивным, так и негативным, в зависимости от того, включен ли выход последнего каскада на управляющий электрод или катод электронно-лучевой трубки?

Л. — Нам придется рассмотреть оба случая.

Н. — Допустим, если ты согласен, что видеосигнал позитивный, т. е. что синхронизирующие импульсы «опираются» на нулевой потенциал и что остальной сигнал поднимается в область положительных напряжений. Как в этом случае отделить синхроимпульсы при помощи диода?

Л. — Существует много схем, используемых для этой цели. Наиболее простые содержат диод со смещением, включенный параллельно видеосигналу. В случае позитивного видеосигнала (рис. 102) катоду диода задается положительный по отношению к аноду потенциал. Пока к аноду не прикладывают напряжений, превышающих это напряжение смещения, ток через диод не проходит. Но как только потенциал анода становится положительным по отношению к катоду, возникает ток. Диод создает настоящее короткое замыкание, вследствие чего на выходе устройства не может появиться напряжение выше того, которое вызывает ток через диод.

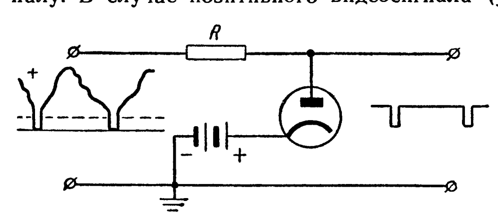
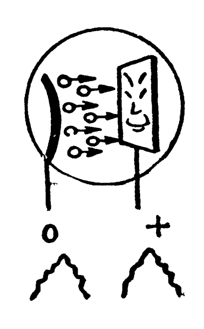
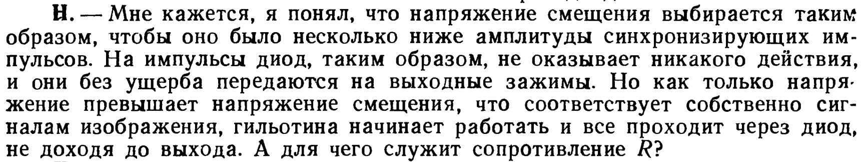


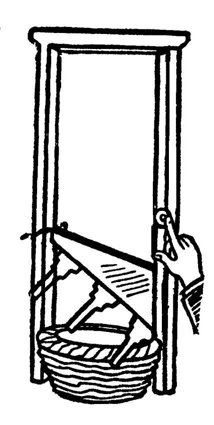
Рис. 102. Амплитудный селектор с параллельным диодом для позитивного сигнала.





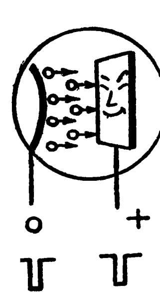
Н. — Мне кажется, я понял, что напряжение смещения выбирается таким образом, чтобы оно было несколько ниже амплитуды синхронизирующих импульсов. На импульсы диод, таким образом, не оказывает никакого действия, и они без ущерба передаются на выходные зажимы. Но как только напряжение превышает напряжение смещения, что соответствует собственно сигналам изображения, гильотина начинает работать и все проходит через диод, не доходя до выхода. А для чего служит сопротивление R?

Л. — Для предохранения сопротивления нагрузки предшествующего каскада от действия короткого замыкания диода.



Н. — Я об этом не подумал... Мог бы ты мне начертить схему, которая используется для негативных видеосигналов? Мне кажется, что нужно изменить направление диода.

Л. — Конечно. И тут опять (рис. 103), как видишь, потенциал анода отрицателен по отношению к катоду. Во время подачи синхроимпульсов потенциал катода положителен относительно анода, диод не пропускает тока и не оказывает никакого влияния на напряжение синхроимпульсов, точно передаваемых на выход. Сигналы же изображения сообщают катоду отрицательный относительно анода потенциал. Тогда возникает ток и на выходе, замкнутом накоротко диодом, отсутствуют сигналы изображения. Вот в несколько схематичном виде работа параллельного диодного ограничителя.



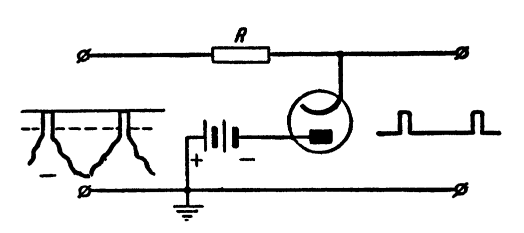


Рис. 103. Амплитудный селектор с параллельным диодом для негативного сигнала.

Н. — Это заставляет меня предположить, что существует последовательная схема. Как она устроена?

Л. — Схема чрезвычайно проста (рис. 104). Используется диод, анод которого слегка положителен благодаря делителю напряжения, состоящему из двух сопротивлений: R_3 и R_4, включенных между отрицательным и положительным полюсами высокого напряжения. Конденсатор C достаточной емкости служит для пропускания переменных составляющих тока.

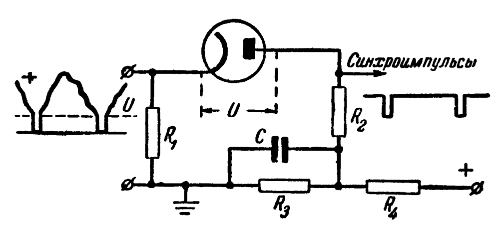
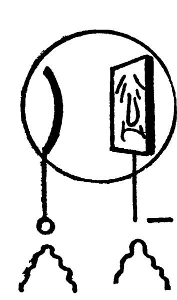


Рис. 104. Амплитудный селектор с последовательным диодом для позитивного сигнала.



Н. — Но ведь через диод будет протекать постоянный ток, раз его анод положителен по отношению к катоду.

Л. — Так будет, по крайней мере в отсутствие сигнала, подаваемого на выход схемы. И не думай, что ток этот будет очень большим. Он создает на сопротивлении нагрузки R_2 такое падение напряжения, что между анодом и катодом остается сравнительно небольшая разность потенциалов U. Соответственно выбирая R_3 и R_4, устанавливают U несколько меньшим, чем напряжение синхронизирующих импульсов.

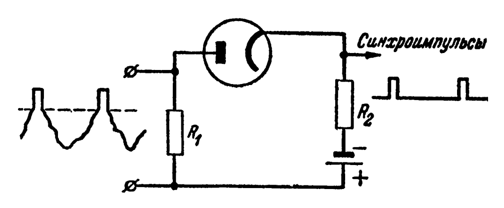
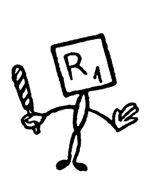


Рис. 105. Амплитудный селектор с последовательным диодом для негативного сигнала.



Н. — А для чего здесь сопротивление R_1?

Л. — Это сопротивление связи предшествующего каскада; я его ввел в схему, так как нужно, чтобы цепь тока диода была полностью замкнута.

Н. — Мне кажется, я без труда угадываю, что происходит в схеме. Пока напряжение видеосигнала, подаваемого на катод, ниже разности потенциалов U, т. е. во время действия синхронизирующих импульсов, потенциал анода остается положительным по отношению к катоду и ток проходит через диод. Но вне этих коротких моментов положительное напряжение, приложенное к катоду, выше, чем U, вследствие чего потенциал анода отрицателен по отношению к катоду. В этих интервалах диод блокирован, т. е. не пропускает тока.



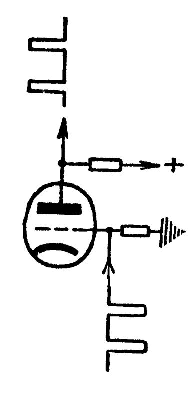
Н. — Твое рассуждение правильно. Ты видишь, что в этой схеме ток проходит только во время синхронизирующих импульсов. Каждый из этих импульсов тока вызывает на сопротивлении R_2 падение напряжения, создающее отрицательный импульс напряжения, снимаемого с анода.

Н. — Хорошо ли это? Я припоминаю, что некоторые развертывающие устройства обязательно требуют положительных синхронизирующих импульсов, тогда как другие менее разборчивы.

Л. — Если это необходимо, то всегда можно изменить полярность импульсов при помощи фазоинверсной лампы.

Н. — А как следует поступать в случае негативных видеосигналов?

Л. — Принцип остается таким же. Но нужно перевернуть диод (рис. 105) и подать на его катод незначительное отрицательное смещение. И в этом случае диод пропускает ток лишь во время действия импульсов. Сигналы изображения сообщают аноду отрицательный относительно катода потенциал, вследствие чего ток прекращается. Каждый синхроимпульс создает на сопротивлении нагрузки положительный импульс напряжения.



На три сетки больше

Н. — Я должен констатировать, что диод не меняет полярности импульсов. Во всяком случае эти схемы кажутся мне соблазнительно простыми и я не вижу, почему следует им предпочесть другие, безусловно более сложные, в которых используются пентоды.

Л. — В технике простота не всегда сочетается с качеством. Вот так и диодные селекторы далеко не блещут добродетелями. Разделение, которое они обеспечивают, несовершенно, так как при очень быстром изменении яркости сигнал изображения попадает на развертывающие устройства через паразитную емкость анод — катод диода. Это значит, что на развертки воздействует помеха, нарушающая синхронизацию. С другой стороны, диод передает только то, что на него подают, да и то неполностью. В то же время очень выгодно использовать усилительную способность пентодов, у которых к тому же очень незначительная емкость между сеткой и анодом.

Н. — Но как поступить, чтобы исчерпать терпение пентодов?

Л. — Это «терпение», или, другими словами, анодный ток, может быть ограничено с двух сторон (рис. 106). С одной стороны — в области отрицательных напряжений на сетке; это, как ты знаешь, нижний изгиб характеристики. Кроме того, приблизительно около 0 *в* на сетке можно отметить ярко выраженный верхний изгиб характеристики, за которым следует горизонтальный участок.

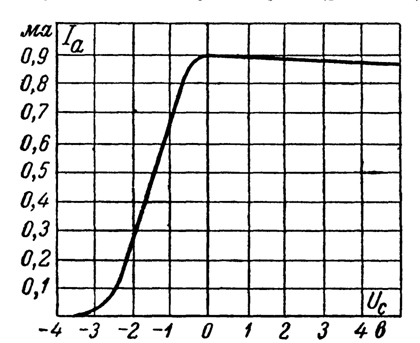
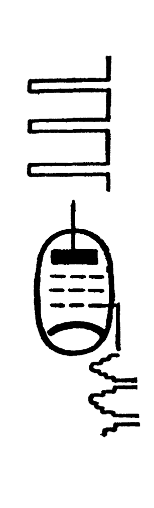


Рис. 106. Характеристика пентодного амплитудного селектора.



Н. — Таким образом, любое увеличение напряжения на сетке сверх нуля уже не повлечет за собой никакого изменения анодного тока?

Л. — Совершенно верно, так же как и всякое уменьшение ниже напряжения, соответствующего возникновению анодного тока.

Н. — Я начинаю предугадывать все, что можно извлечь из этих двух границ терпения. Но прежде мне хотелось бы узнать, в результате каких уловок удается получить такую форму характеристики пентода.

Л. — Конечной целью является воспрепятствовать увеличению потока электронов сверх определенной интенсивности, каково бы ни было отверстие того электронного крана, каким является сетка. Это удается в результате выбора соответствующих напряжений на аноде и экранирующей сетке. Можно, например, при очень небольшом положительном напряжении (порядка 5 *в*) на аноде подать от 30 до 40 *в* на экранирующую сетку.

Синхроимпульсами вверх и вниз

Н. — Я полагаю, что все пентодные селекторы устраивают так, чтобы синхронизирующие импульсы занимали область напряжений сетки, при которых анодный ток изменяется, иначе говоря, занимали восходящую ветвь характеристики. Собственно же сигнал изображения, конечно, попадает либо в область верхнего горизонтального участка, либо в область нулевого анодного тока. В обоих случаях лампой будут усилены только синхронизирующие импульсы, тогда как сигналы изображения не вызовут изменения анодного тока.

Л. — Ты прекрасно изложил принцип пентодного селектора. Поэтому для меня не составит трудности подробно рассмотреть его схему. Возьмем, если хочешь, в качестве примера случай позитивного видеосигнала (рис. 107). На аноде пентода благодаря делителю напряжения, состоящему из сопротивлений R_1—R_4, потенциал очень низок, на экранирующей сетке потенциал выше, а потенциал катода из-за падения напряжения на сопротивлении R_1 положителен относительно управляющей сетки или, что эквивалентно, управляющая сетка имеет отрицательное смещение по отношению к катоду.

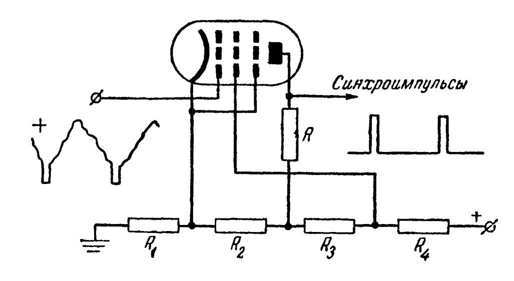
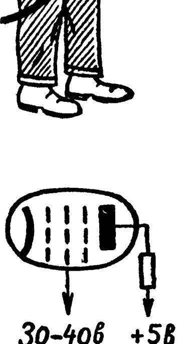
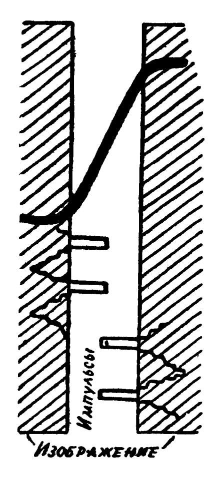


Рис. 107. Схема пентодного амплитудного селектора с низким анодным напряжением для позитивного сигнала. Для большей ясности конденсаторы развязки опущены.



Н. — Все это ясно. Но для чего служит смещение?

Л. — Посмотри на характеристику лампы (рис. 108). Смещение регулируют так, что-



бы рабочая точка была расположена у самого начала характеристики. Таким образом, синхронизирующие импульсы займут всю область напряжений на сетке, где лампа усиливает (восходящая часть характеристики). Нужно, впрочем, чтобы импульсы дошли или даже зашли за верхний изгиб характеристики. Тогда вся часть сигналов, относящаяся к изображению, попадет на горизонтальный участок характеристики, где анодный ток практически неизменен. Таким образом, только синхроимпульсы окажутся усиленными, так как при каждом импульсе ток упадет до нуля, а все остальное время будет сохранять максимальное значение.

Н. — Раз ток определяет падение напряжения на сопротивлении нагрузки R, падение, которое определяет действительное напряжение на аноде, то во время импульсов при отсутствии тока это падение становится нулевым. В эти моменты напряжение на аноде, следовательно, возрастает и достигает напряжения питания. В результате мы получаем на аноде положительные синхронизирующие импульсы вместо отрицательных импульсов, подаваемых на сетку.

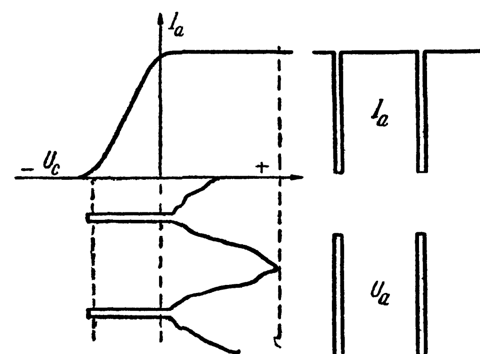
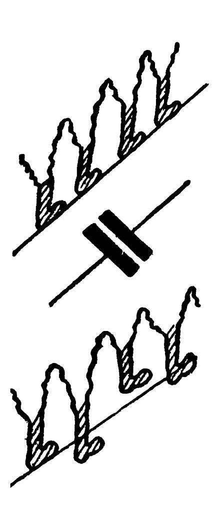


Рис. 108. Принцип работы пентодного селектора в случае позитивного сигнала.



Л. — Это тебя удивляет? Однако это и есть изменение полярности напряжения, сопровождающее усиление. А теперь, рискуя разочаровать тебя, должен сказать, что по схеме, как я начертил, селектор не сможет правильно работать.

Н. — Ах, Любознайкин, ты каждый раз окатываешь меня холодным душем. Ведь это такое простое и симпатичное устройство!

Л. — Прежде всего амплитудный селектор связан с предшествующим каскадом через конденсатор. Тот, кто говорит «конденсатор», говорит «исчезновение постоянной составляющей».

Н. — Мы действительно последний раз достаточно об этом говорили. Но чему это мешает в данном случае?

Л. — Да разве это не бросается тебе в глаза?.. Вся работа амплитудного селектора основана на точном выравнивании оснований импульсов на уровне сеточного напряжения, соответствующего возникновению анодного тока. Если при отсутствии постоянной составляющей «ноги» импульсов начнут нечто вроде беспорядочного балета и окажутся на разных уровнях в соответствии с формой напряжения видеосигнала, то появится зависимость анодного тока от этого напряжения, синхронизирующие импульсы будут неодинаковыми, а развертки будут синхронизироваться неправильно, так как напряжение видеосигнала пройдет через амплитудный селектор.



Н. — Какой ужас! Нельзя ли помочь этому, включив параллельно сопротивление утечки сетки R_5 наш добрый восстанавливающий диод?

Л. — Так и поступают, и все приходит в порядок (рис. 109) или почти что так, так как существуют еще помехи, возникающие из-за сеточного тока...

Н. — Что это еще за почти что?

Л. — Как ты можешь видеть, сигнал изображения создает на сетке довольно значительное положительное напряжение. В этих условиях сетка действует, как анод, т. е. на нее попадают электроны. Таким путем возникает ток, идущий во внешней цепи от катода к сетке. Чтобы уменьшить этот

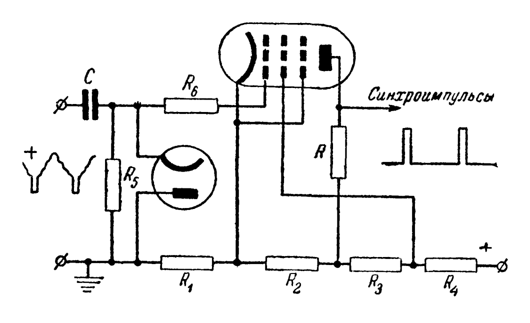
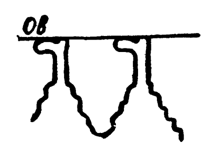


Рис. 109. Восстанавливающий диод, дополняющий схему на рис. 107. Конденсаторы развязки опущены.



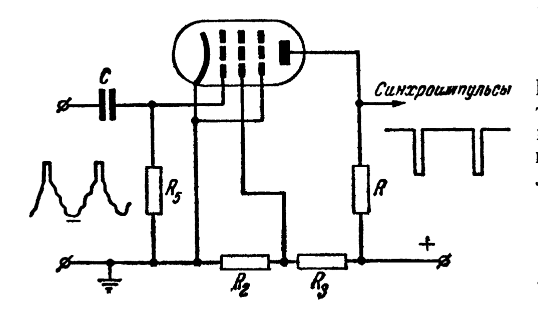


Рис. 110. Схема пентодного амплитудного селектора без диода с низким напряжением на экранирующей сетке. При негативном сигнале необходимость в восстанавливающем диоде отпадает.



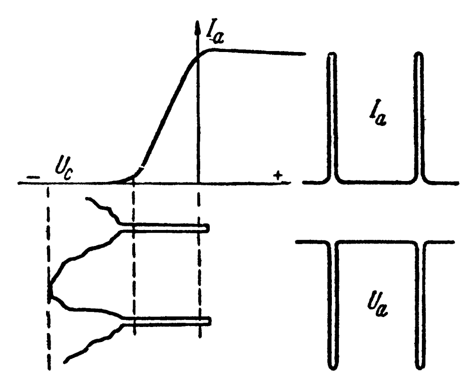
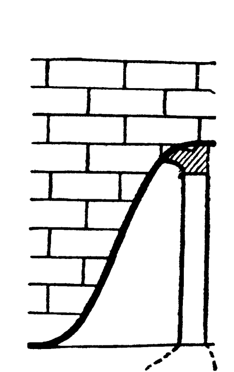


Рис. 111. Принцип работы пентодного селектора в случае негативного сигнала.



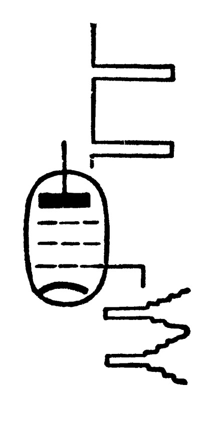
недостаток, на пути тока включают сопротивление R_6. Сеточный ток создает падение напряжения, повышающее отрицательное смещение и уменьшающее, таким образом, положительные потенциалы на сетке.

Н. — А как поступают в случае негативного видеосигнала? Мне кажется, что восстанавливающий диод должен быть включен в обратном направлении и что...

Л. — Никаких диодов! При негативном видеосигнале (рис. 110) проблема значительно упрощается. Отпадает необходимость в смещении, так как достаточно заставить отдыхать «ноги» импульсов на нулевом потенциале. Не требуется восстанавливающий диод, потому что сетка лампы без смещения играет роль анода такого диода, как мы это видели во время последней беседы. Наконец, нечего опасаться сеточного тока, раз все происходит в области отрицательных напряжений сетки.

Н. — Это поистине замечательно! Я вижу, что и в этом случае (рис. 111) только синхроимпульсы занимают область восходящей части характеристики. Что же касается собственно сигналов изображения, то они попадают в зону нулевого анодного тока и не влияют на его величину.

Л. — Можешь отметить, что и здесь входные и выходные сигналы имеют противоположные полярности. Синхроимпульсы вызывают импульсы анодного тока, которые в результате падения напряжения на сопротивлении нагрузки создают отрицательные импульсы напряжения.



Незлобивый конденсатор и сварливое сопротивление

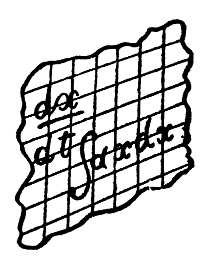
Н. — А теперь, когда мы умеем, наконец, с помощью диодов или пентодов извлекать положительные или отрицательные синхроимпульсы, что нужно делать, чтобы отделить импульсы строк от импульсов кадров?

Л. — Ты знаешь, что они различаются по своей длительности. Принцип разделения состоит в преобразовании длительности в амплитуду.

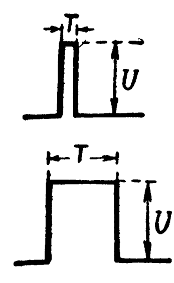
Н. — Вот это ясно! Даже греческие пифии так двусмысленно не выражались...

Л. — Однако все это очень просто. Чаще всего прибегают к методам интегрирования и дифференцирования.

Н. — Час от часу не легче! Теперь уж мне, конечно, придется изучить дифференциальное и интегральное исчисление, чтобы понять твои объяснения...



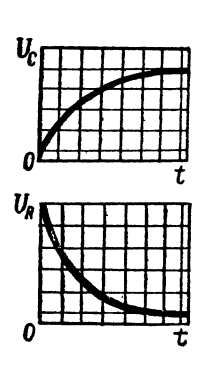
Л. — Это вовсе необязательно. Термины, которые произвели на тебя такое сильное впечатление, относятся в этом случае к поведению сигналов в простейшей цепи, состоящей из последовательно включенных сопротивления и конденсатора (рис. 112). Если хочешь, разберем, что произойдет, если мы внезапно приложим к зажимам такой цепи напряжение U, сохраним его в течение некоторого времени T, а затем снимем.



Н. — За то время, что мы с тобой встречаемся, я узнал многое, в частности я научился угадывать твои задние мысли. Я уже прекрасно вижу, что это за напряжение, которое включают, а затем внезапно выключают. Это обыкновенный прямоугольный сигнал, являющийся строчным импульсом, если T короткое, или кадровым, если T более продолжительное. Так ведь?

Л. — От тебя ничего не скроешь, Незнайкин! Рассмотрим форму напряжений U_R и U_C, которые появятся на сопротивлении и на конденсаторе.

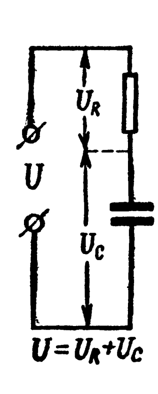
Н. — Но, дорогой Любознайкин, это для меня далеко не новая проблема. Ведь мы ее уже рассматривали в пятой беседе, касаясь развертывающих устройств. Когда включают напряжение U, начинают заряжать конденсатор C через сопротивление R. Напряжение U_C на зажимах конденсатора возрастает по экспоненциальной кривой более или менее быстро сообразно с постоянной времени цепи, являющейся произведением RC.



Л. — Твоя превосходная память намного облегчает мне объяснения. По существу, в зависимости от того, имеют ли сопротивление и конденсатор большую или малую величину (на рисунке я предусматриваю оба случая), конденсатор будет заряжаться медленнее или быстрее. Можешь ты мне сказать, что произойдет в это время с сопротивлением R?

Н. — Ну, что же, в начале заряда через него пройдет максимальный ток, который обусловит большое падение напряжения U_R. Затем по мере заряда величина тока, а следовательно, и величина напряжения U_R уменьшатся опять же по экспоненциальной кривой.

Рис. 112. Искажения прямоугольного сигнала в цепи из последовательно соединенных конденсатора и сопротивления (слева — при большой, справа — при малой постоянной времени).

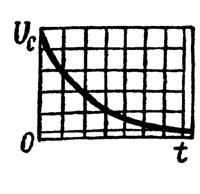


Л. — А ты не подумал о том, что сумма напряжений U_R и U_C должна быть в любой момент равна общему напряжению U?

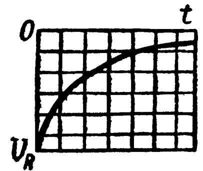
Н. — Признаюсь, что эта элементарная истина ускользнула от меня. Очевидно, если ее учесть, то можно построить кривую U_R по кривой U и наоборот, раз сумма их дает горизонтальную площадку.

Л. — Я начертил кривые напряжений для постоянной времени RC, более высокой по сравнению с длительностью T прямоугольного импульса, а также для малого значения RC. В первом случае я принял, что заряд практически заканчивается в конце интервала времени T. Во втором случае он заканчивается очень быстро, так что за всплеском напряжений U_C и U_R следуют горизонтальные участки. Теперь перейдем ко второму акту драмы: приложенное напряжение U вновь падает до нуля.

Н. — В этот момент конденсатор C начинает разряжаться через сопротивление R и источник напряжения. Вследствие этого напряжение U_C начинает уменьшаться, также по экспоненте и с той же постоянной времени. Когда постоянная времени достаточно велика, мы опять встречаемся с нашим старым добрым знакомым — зубом пилы, одним из тех зубьев, которыми мы были сыты по горло за время изучения развертывающих устройств.



Л. — Наш зуб пилы отличается от других тем, что заряд и разряд происходят в соответствии с одним и тем же законом, тогда как в развертывающих устройствах разряд происходит значительно скорее, поскольку цепь разряда имеет очень небольшое сопротивление и поэтому небольшую постоянную времени... Но, однако, вернемся к нашим напряжениям. Что произойдет с U_R на сопротивлении?



Н. — Поразительные явления! Когда конденсатор начнет разряжаться, ток через сопротивления R изменит направление. Появится, следовательно, отрицательное падение напряжения. Ток и, следовательно, напряжение, значительные в начале разряда, затем уменьшаются по экспоненциальному закону, который решительно оказывается высшим законом в телевидении.

Л. — Не удивляйся так изменению направления напряжения на сопротивлении R. При наличии некоторой логики ты мог бы и предвидеть это. Ведь $U_R + U_C = U$. Если U упало до нуля, то для сохранения этого равен-

ства нужно, чтобы U_R стало отрицательным, если U_C положительно, в противном случае сумма их не может быть равна нулю...

Н. — Это ясно. Но у меня в противоположность тебе нет «математической шишки» и физические рассуждения для меня гораздо более убедительны. Твои научные термины...



Л. — Пусть они тебя не пугают. Говорят, что напряжение U и н т е г р и р у е т с я, когда снимается напряжение U_C с конденсатора. Его форма изменяется в том смысле, что все округляется. Внезапные изменения смягчаются. Наоборот, все эти изменения резче выражены в д и ф ф е р е н ц и р о в а н н о м напряжении U_R, которое снимают с сопротивления.

Н. — В общем конденсатор — это незлобивый толстяк, во всем видящий хорошее. Напротив, сопротивление — это сварливая карга с резкими движениями, с приступами громоподобного гнева...

Дифференцирующие и интегрирующие цепи в действии



Л. — Твой антропоморфизм меня огорчает... Запомни из того, что мы говорили, следующее: одна и та же цепь может служить и дифференцирующей и интегрирующей в зависимости от того, откуда снимают напряжение — с сопротивления или конденсатора. Однако в дифференцирующей цепи R и C должны быть сравнительно небольшой величины, их произведение, т. е. постоянная времени, не должно превышать приблизительно пятой части продолжительности импульса T. Наоборот, R и C интегрирующей цепи должны быть большими, так чтобы постоянная времени была в несколько раз больше T.

Н. — Следовательно, если я правильно понял, практически используются разные цепи для дифференцирования и интегрирования. И все же, должен признаться, я не совсем ясно себе представляю, как их используют.

Л. — А ведь ты уже достаточно знаешь, чтобы понять это. Начерти форму синхронизирующих сигналов на выходе амплитудного селектора.

Н. — Вот они стоят стройными рядами (рис. 113). Я изобразил два строчных импульса, затем более длинные кадровые импульсы, затем опять импульсы строк [1].

Л. — Я в свою очередь дополню твой рисунок, отметив стрелками моменты начала развертки строк. Напомню мимоходом, что синхронизация строчной развертки поддерживается и во время подачи кадровых синхроимпульсов. Сумеешь ты теперь начертить форму дифференцированного напряжения?

U

U_R

U_C

Рис. 113. Разделение синхронизирующих сигналов с помощью схемы на рис. 114.

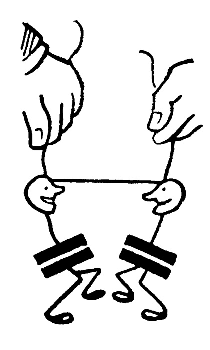


Н. — В соответствии с тем, что ты только что говорил, я полагаю, что постоянная времени очень мала, менее пятой части длительности импульсов... чего?

Л. — Самых коротких импульсов, строчных.

Н. — Дифференцированные сигналы имеют вид коротких и острых импульсов, положительных или отрицательных сообразно с тем, идет ли речь о начале или конце импульсов.

Л. — Эти сигналы, острые, как лезвие бритвы, весьма пригодны для точной сихронизации строчной развертки. В более простых телевизорах они непосредственно используются для сихронизации блокинг-генератора или мультивибратора, о которых мы уже говорили. В телевизорах подороже эти импульсы управляют схемой автоматической подстройки строчной частоты, отличающейся повышенной помехоустойчивостью, особенно необходимой в условиях дальнего приема при слабом входном сигнале.

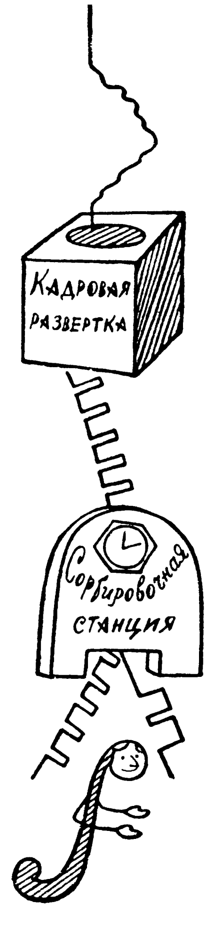


А теперь попробуй начертить форму сигналов на выходе интегрирующей цепи.

Н. — Я думаю, что ее постоянная времени должна превышать длительность кадрового импульса. В этих условиях строчный импульс многого не сделает. Действительно, едва начнется заряд конденсатора, как нужно, чтобы начался разряд. Бедняжка толстяк не успеет достигнуть сколько-нибудь значительного напряжения, как оно уже начнет падать.

---

[1] Уравнивающие импульсы двойной строчной частоты, играющие чисто вспомогательную роль, во избежание усложнения чертежа здесь опущены. *Прим. ред.*



Л. — Тем лучше, Незнайкин! То, что импульсы строк почти не появляются на выходе интегрирующей цепи, великолепно, так как эта цепь поможет нам выделить кадровые импульсы. Посмотри-ка, как она реагирует на эти импульсы.

Н. — Так как их продолжительность больше, у конденсатора будет время зарядиться в какой-то мере. Но в конце первого импульса и во время, отделяющего его от следующего импульса, он немного разрядится. Затем, во время второго импульса его напряжение еще повысится. Последует короткий разряд, затем новый заряд и т. д. Все это похоже на тот танец, где делают три шага вперед, затем шаг назад, потом опять три шага вперед и т. д.

Л. — С той только разницей, что по мере увеличения напряжения шаги становятся короче.

Н. — Конечно, раз устройство подчиняется этому неизбежному экспоненциальному закону... Но всему приходит конец. И когда серия кадровых импульсов закончит свое шествие, конденсатор разрядится по наилучшей экспоненциальной кривой.

Л. — Не такой уж хорошей из-за маленьких бугорков от последующих строчных импульсов.

Н. — В общем благодаря интегрирующей цепи совокупность кадровых импульсов дает длинный и высокий зуб пилы, причем строчные импульсы практически исчезают. А что делают с проинтегрированным напряжением?

Л. — Его подают на кадровую развертку, которая в благоприятном случае оказывается правильно синхронизированной. Для повышения качества синхронизации можно использовать диод со смещением, чтобы пропустить только верхушки импульсов и устранить таким образом остатки строчных син-

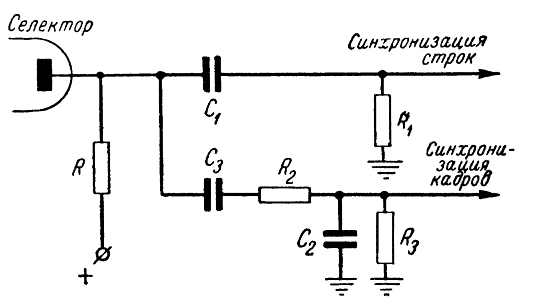
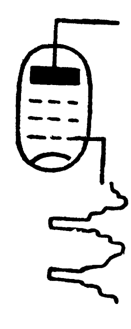


Рис. 114. Схема дифференцирующей цепи для выделения строчных импульсов и интегрирующей цепи для выделения кадровых импульсов.

хроимпульсов. Но этого практически не требуется. Чаще всего цепь разделения встречается в простейшей форме (рис. 114), где напряжение с сопротивления нагрузки R амплитудного селектора подается, с одной стороны, на дифференцирующую цепочку R_1C_1, соединенную с каскадом строчной развертки, а с другой — на интегрирующую цепочку R_2C_2, соединенную с каскадом кадровой развертки.

Н. — А для чего служат конденсатор C_3 и сопротивление R_3?

Л. — Конденсатор C_3 обеспечивает связь и в то же время не дает анодному напряжению селекторной лампы попасть на вход каскада кадровой развертки, а сопротивление R_3 является утечкой сетки лампы этого каскада.



Н. — Все это прекрасно? Но разве C_3 и R_3 не представляют собой нечто вроде дифференцирующей цепи, наложенной на интегрирующую и мешающей ей?

Л. — Нисколько, Незнайкин. Величины этих двух элементов настолько велики, что их дифференцирующее действие совершенно ничтожно.

Экспоненциальная лестница

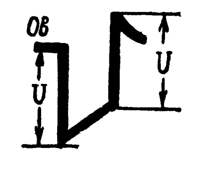
Н. — Почему ты сказал, неопределенно улыбнувшись, что кадровая развертка будет правильно синхронизирована интегрирующей цепью лишь в благоприятном случае?

Л. — Потому что я не люблю этих цепей. Сигналу, который они дают, не хватает четкости: все вяло, бесформенно, все закруглено... Покажи мне

дифференцирующую цепь, где какой бы то ни было сигнал расплывался бы на всю ширину!

Н. — Но не применишь же ты дифференцирующую цепь, чтобы выделить кадровые импульсы.

Л. — А почему бы и нет? Но только для этого я возьму конденсатор и сопротивление достаточной величины, чтобы получить постоянную времени намного выше, чем в строчной дифференцирующей цепи.



Н. — Не понимаю, как все это будет работать. Не мог бы ты еще раз облегчить мне понимание соответствующим чертежом?

Л. — Возьмем импульсы (рис. 115) отрицательной полярности, когда на селекторную лампу подают негативный видеосигнал. Попробуй начертить форму напряжения на сопротивлении.

Н. — В момент, когда возникает отрицательное напряжение строчного импульса, на сопротивлении появляется полное напряжение. Зарядный ток, который его определяет, медленно уменьшается из-за постоянной времени цепи и...

Л. — Но, дорогой Незнайкин, заряд не может быть длительным, ибо строчный импульс, определяющий его, сам имеет малую длительность.

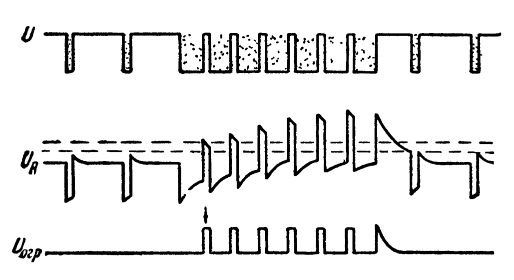
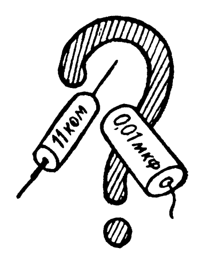
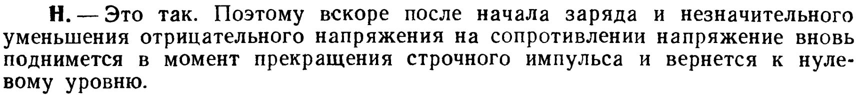


Рис. 115. Выделение кадровых импульсов с помощью дифференцирующей цепи и амплитудного ограничителя.





Н. — Это так. Поэтому вскоре после начала заряда и незначительного уменьшения отрицательного напряжения на сопротивлении напряжение вновь поднимется в момент прекращения строчного импульса и вернется к нулевому уровню.

Л. — Ты в этом так уверен? Когда напряжение сигнала изменяется от минус *U в* до нуля, оно увеличивается на *U в*. И то же происходит с напряжением на сопротивлении. Следовательно, поскольку после начала заряда оно уже несколько поднялось от уровня минус *U в*, оно достигает в момент прекращения импульса некоторой положительной величины. В процессе же разряда конденсатора напряжение на сопротивлении упадет до нуля.

Н. — Верно. Какие, однако, сложные вещи могут происходить в простом сопротивлении, присоединенном к конденсатору!

Л. — Все это гораздо проще, чем кажется на первый взгляд. Посмотрим теперь, что будет происходить с кадровыми импульсами.

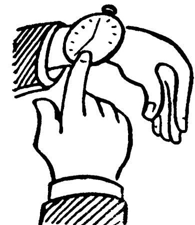


Н. — В принципе то же, что и со строчными. Но заряд будет длиться дольше для каждого импульса. Таким образом, напряжение будет располагать большим количеством времени, чтобы увеличиться. При каждом прекращении импульса, поднимаясь на *U в*, напряжение на сопротивлении будет становиться все более и более положительным. И это тем более, что между двумя последовательными кадровыми импульсами у конденсатора почти не останется времени, чтобы разрядиться.

Л. — Видишь, как напряжения поднимаются, образуя нечто вроде лестницы...

Н. — ...экспоненциальной, я в этом уверен. Этот процесс тянется до конца кадровых импульсов, после чего конденсатор может, наконец, разрядиться, сказав с облегчением: «уф»...

Л. — Ты видишь теперь, что с помощью дифференцирующей цепи с достаточно большой постоянной времени удалось выявить кадровые сигналы в виде ряда импульсов, явственно преобладающих над пейзажем. Что еще нужно сделать, чтобы можно было использовать их для целей синхронизации?



Н. — Я догадываюсь, что, отрезав все, что находится вне интервала амплитуд, заключенных между двумя уровнями, отмеченными пунктиром, получают напряжения, вычерченные на графике $U_{огр}$. Этого можно добиться при помощи ограничителей с диодами или пентодами. Полученное таким образом напряжение может быть использовано для синхронизации кадровой развертки.

Л. — Заметь, насколько она может быть более четкой по сравнению с синхронизацией от интегрирующей цепи. С первого же импульса, там, где я начертил стрелку, с высокой точностью начнется кадровая развертка [1].

Н. — Что касается меня, то моя развертка времени, которую я ношу на браслете, показывает, что мне пора ложиться спать, чтобы проинтегрировать твои дифференциальные объяснения.

---

[1] Правильно рассчитанная интегрирующая цепь может обеспечить совершенно безукоризненную синхронизацию В то же время амплитудный селектор с интегрирующей цепью проще, чем с дифференцирующей, требующей применения амплитудных ограничителей. К тому же интегрирующая цепь меньше подвержена влиянию импульсных помех, чем дифференцирующая, и поэтому находит преимущественное применение. *Прим. ред.*

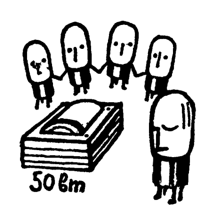


БЕСЕДА ШЕСТНАДЦАТАЯ

Для телевизионных приемников проблема питания так же важна, как и для живых существ. При недостаточном питании телевизор дает бледные и чахлые изображения. Более прожорливый, чем радиоприемник, он требует бóльших напряжения и мощности. Разные способы, часто очень остроумные, дают возможность получить очень высокое напряжение, которое должно быть подано на последний анод приемной электронно-лучевой трубки. Рассматривая эти разнообразные вопросы, наши приятели затронут следующие темы: анодное питание; фильтрация; регулировка фокусировки и яркости; высоковольтный выпрямитель с одноанодным кенотроном; меры предосторожности при работе с высоким напряжением; максимальное обратное напряжение; контактные выпрямители; удвоение напряжения; питание элекростатических трубок; высокое напряжение от генераторов низкой и высокой частоты; использование перенапряжения на обратном ходу по строкам.

ПРОБЛЕМЫ ПИТАНИЯ

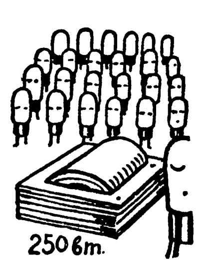
В области классики



Незнайкин. — Ну, что ж, на этот раз, я думаю, хватит. Сколько я ни размышлял, я не нахожу больше ни одного элемента телевизора, который мы бы не рассмотрели.

Любознайкин. — До некоторой степени это правильно. Но если ты соберешь телевизионный приемник только из элементов, которые мы с тобой изучили, он так же не заработает, как человек, лишенный пищи.

Н. — Да, конечно, мы не затронули вопросы питания. Но я полагал, что классические решения, применяемые в радио, пригодны также и в телевидении. Я прекрасно понимаю, что 20 или 25 ламп телевизора потребуют более значительной мощности, чем банальный супергетеродин на четырех лампах. Но с помощью мощного трансформатора 150 или более ватт вместо его скромного коллеги из «музыкальной шкатулки», мирно отдающего свои 50 *вт*, и с соответствующим кенотроном все легко обойдется.



Л. — То, что ты говоришь, не лишено здравого смысла, хотя главная трудность, по-видимому, от тебя ускользнула.

Н. — И это?..

Л. — Источник на много тысяч вольт, необходимость которого вызывается анодом приемной трубки. Но пока что оставим в покое этот вопрос. Правильно, что для остального устройства может быть использовано питание, подобное питанию радиоприемников, но более мощное. Однако необходимо предусмотреть (рис. 116) дополнительную фильтрующую цепь для питания высокой и промежуточной частоты и отдельный фильтр для выходной лампы низкой частоты. В противном случае резкие и сильные изменения потребления питания, возникающие в процессе образования зубьев пилы и в усилителе низкой частоты, будут влиять на высокое напряжение усилителя

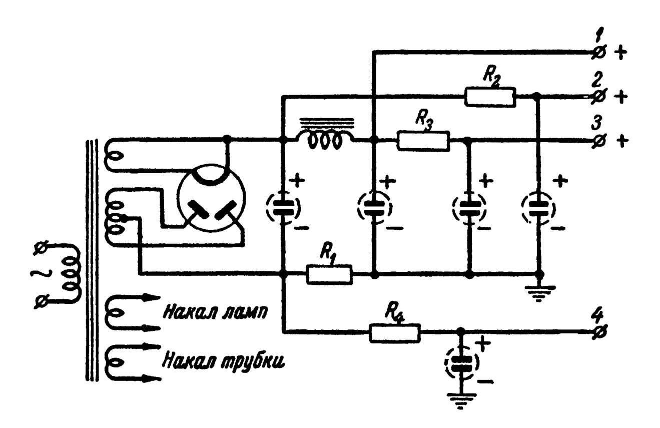
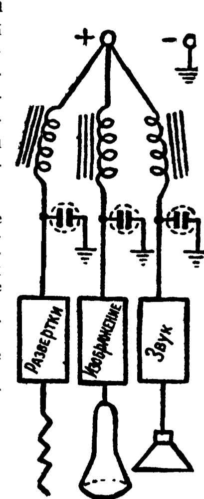
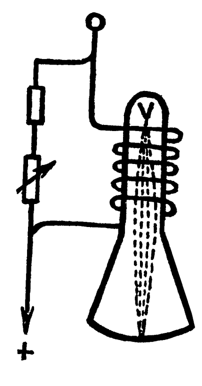


Рис. 116. Схема источника питания телевизора. Источник высокого напряжения для анода электронно-лучевой трубки на этой схеме не показан.

1 — анодное питание ламп развертки; *2* — анодное питание выходной лампы низкой частоты; *3* — анодное питание ламп усилителей высокой и промежуточной частоты; *4* — отрицательное смещение.





видеосигналов и приемника звука, который будет сильно гудеть, тогда как изображение будет искажено. В дополнительных фильтрах вместо дросселей использованы сопротивления R_2 и R_3. Падение напряжения на сопротивлении R_1 в общей цепи питания используется для смещения. В старых типах телевизоров с электромагнитными трубками вместо сопротивления R_1 часто включали фокусирующую катушку трубки.

Н. — Как в радиоприемнике вместо дросселя фильтра — подмагничивающую обмотку электродинамического громкоговорителя?

Л. — Совершенно верно, хотя все более и более наблюдается тенденция использовать превосходные постоянные магниты, а громкоговорители с подмагничивающей обмоткой отнести в область воспоминаний, так же как и фокусирующую катушку.

Н. — Я могу отметить, что трансформатор содержит дополнительную обмотку, предназначенную для накала электронно-лучевой трубки.

Л. — Это полезная мера предосторожности, особенно когда катод и управляющий электрод трубки находятся под потенциалом анода лампы видеоусилителя.

Н. — Так или иначе проблема питания решена для меня на 90%, раз я уже знаю, как подавать необходимые напряжения на все электроды, за исключением последнего анода трубки. Что нужно вписать в его меню?

Ресторан „Все для ламп"
МЕНЮ
1. Накал ламп
2. Накал трубки
3. Анодное напряжение
4. Высокое напряжение

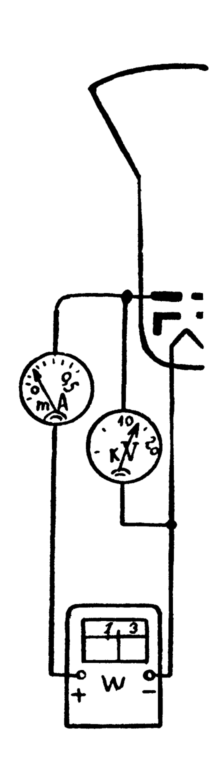
В стране киловольт

Л. — Этот анод не очень прожорлив, но у него утонченные вкусы. Ему необходимо от 800 до 4 000 *в* в трубках с электростатическими фокусировкой и отклонением. В трубках с электромагнитным отклонением, преимущественно используемых в телевидении, требуется от 5 000 до 16 000 *в*. А трубки для проекции на большой экран, о которых мы будем говорить дальше, питаются напряжением не менее 25 000 *в*, а иногда и в 2 или 3 раза выше.

Н. — Но мой домашний счетчик взорвется от такого количества киловольт!

Л. — Ни малейшей опасности, по крайней мере для счетчика, потому что эти киловольты совсем не поглощают киловатт. Анодный ток электронно-лучевых трубок измеряется в микроамперах. Как правило, он меньше миллиампера. Например, трубка с экраном 43 *см* потребляет при напряжении 12 000 *в* ток не более 0,1 *ма*, что соответствует мощности 1,2 *вт*. Твой счетчик с презрением взирает на такую мощность...

Н. — Если это так, то я думаю, что нет никакого затруднения в получении высокого напряжения из сети питания. Ведь все обычные схемы анод-



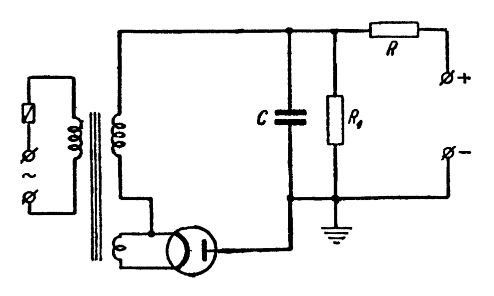


Рис. 117. Сетевой высоковольтный выпрямитель с одноанодным кенотроном.

ного питания должны годиться также и для получения высокого напряжения?

Л. — Без всякого сомнения. Но, принимая во внимание незначительность тока и соответственно этому легкость фильтрации, достаточно самого простого устройства — однополупериодного выпрямителя с одноанодным кенотроном (рис. 117).

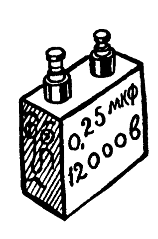
Н. — Фильтр на твоей схеме выглядит весьма примитивным: один конденсатор и два сопротивления.

Л. — В действительности достаточно и одного конденсатора. Заряжаемый 50 раз в секунду, он так мало разряжается между двумя последовательными зарядами, что напряжение на его обкладках практически остается постоянным и почти равным амплитуде напряжения на высоковольтной вторичной

обмотке трансформатора. Конденсатора емкостью 0,1—0,25 *мкф* вполне достаточно.

Н. — Такого маленького конденсатора?

Л. — Маленького по емкости, но отнюдь не по объему, так как он должен быть прекрасно изолирован, чтобы без пробоя выдерживать тысячи вольт между обкладками. Это возможно при достаточной толщине диэлектрика и, следовательно, довольно больших габаритах.



Н. — Мне кажется, что сопротивление R эффективно дополняет фильтрующее действие конденсатора.

Л. — Нет, оно имеет иное назначение. Это сопротивление 50—100 *ком* служит для защиты кенотрона и трансформатора путем ограничения тока в случае неожиданного короткого замыкания в высоковольтной цепи.

Н. — А для чего служит сопротивление R_1, параллельное конденсатору C?

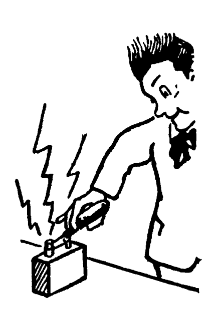
Л. — Еще одна мера безопасности, но на этот раз — чтобы защитить техника. Это сопротивление большой величины (порядка 20 *Мом*) служит для разряда конденсатора C после выключения приемника. В сухое время года конденсатор может часами сохранять заряд. Соприкосновение с зажимами конденсатора 0,25 *мкф*, заряженного до 12 000 *в*, может вызвать смерть или в лучшем случае серьезный шок. Ремонтные техники, которые шутки ради дают тебе в руки конденсатор, заряженный выпрямителем приемника до напряжения около 300 *в*, совершают ошибку, допуская такие глупые шутки. Напряжение же, в 40 раз более высокое, ничего приятного не обещает, поверь моему личному опыту...



Н. — Однако с разрядным сопротивлением R_1 не грозит никакая опасность.

Л. — Один добрый совет, Незнайкин: никогда не прикасайся к включенному высоковольтному источнику. И, даже выключив ток, не доверяй защитному сопротивлению R_1, так как оно всегда может отсоединиться. Начинай с того, что накоротко замкни зажимы конденсатора C лезвием отвертки, которую ты, конечно, будешь держать за изолирующую рукоятку. И если ты услышишь треск разряда большой искры, пошли мысленно благодарность твоему доброму другу, Любознайкину, а также... позаботься о другом конденсаторе. Потому что бывают случаи, когда внезапный разряд разрушает его, хотя он и не так хрупок, как человеческий организм...

Н. — Спасибо, Любознайкин, что ты предупредил меня о смертельных опасностях, таящихся в чреве телевизора...



Множество опасностей в высоковольтном выпрямителе

Л. — Есть и другие опасности, угрожающие его собственным элементам. Так, кенотрон и высоковольтный трансформатор должны выдерживать такие напряжения, которые подвергают их жестоким испытаниям.

Н. — Ну, конечно, амплитуда напряжения на высоковольтной вторичной обмотке очень велика.

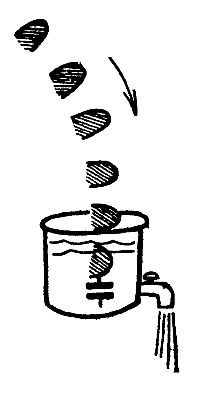
Л. — Скажи лучше удвоенная величина этого напряжения.

Н. — Я тебя опять перестаю понимать. Почему удвоенная величина?

Л. — Чтобы тебе было яснее, я вновь начерчу схему выпрямителя, но менее ортодоксальным образом (рис. 118).

Н. — Изображенная таким образом схема напоминает мне немного схемы разверток: слева видна зарядная цепь, где напряжение вторичной обмотки создает ток, который после выпрямления кенотроном заряжает конденсатор C; последний разряжается затем по цепи, расположенной справа.

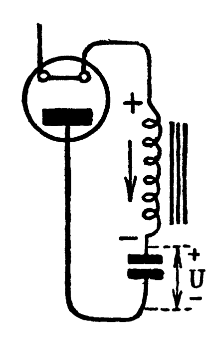
Л. — Такое толкование не лишено интереса и может, в частности, помочь тебе лучше разобраться в механизме фильтрации. Но пока что я хотел бы осветить некоторые другие явления. Для этого будем действовать нашим обычным методом.



Н. — Ты хочешь рассмотреть, что происходит за каждый полупериод? Это нетрудно. Возьмем прежде тот, когда ток проходит через кенотрон. Это полупериод, когда электроны выталкиваются к верху вторичной обмотки, т. е. когда из-за наличия электродвижущей силы верхний конец вторичной обмотки становится отрицательным по отношению к нижнему.

Л. — Прекрасно, Незнайкин. Можно подумать, что ты угадываешь, как я поведу рассуждение.

Н. — По правде говоря, нет. Но я вижу, что электроны свободно проходят от катода к аноду кенотрона и заряжают конденсатор до амплитудного значения напряжения U, развиваемого вторичной обмоткой, причем потенциал нижней обкладки отрицателен по отношению к верхней.



Л. — Посмотри теперь, что произойдет во время следующего полупериода, изобразив это на схеме.

Н. — По моему мнению, не произойдет ничего, потому что теперь электродвижущая сила на вторичной обмотке изменила полярность и разность потенциалов между верхним и нижним концами положительна и равна U. Поэтому электроны не могут идти от анода к катоду. Значит, ток в цепи будет отсутствовать.

Л. — Очевидно. Но что происходит в это время на конденсаторе C?

Н. — Он очень медленно разряжается через нагрузку. Практически же напряжение на его обкладках продолжает оставаться равным U.

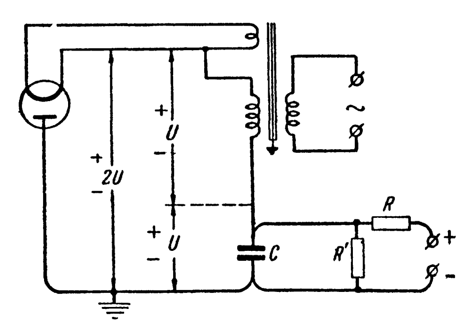
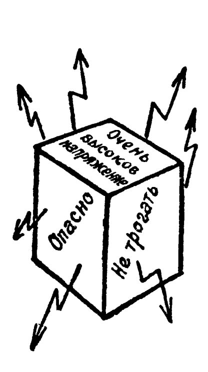
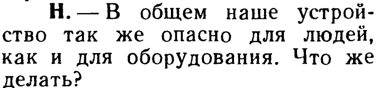


Рис. 118. Схема, аналогичная схеме на рис. 117, поясняющая процесс возникновения удвоенного обратного напряжения.

Л. — Ну, что же, посмотри, как это все выглядит на схеме. Ты имеешь два напряжения U, включенных последовательно: на конденсаторе и на вторичной высоковольтной обмотке. Таким образом, «максимальное обратное напряжение» — его так называют, приложенное между катодом и анодом кенотрона, равно 2 U. При напряжении 12 000 *в* это составляет во время не пропускаемых кенотроном полупериодов максимумы 24 000 *в*. Чтобы внутри кенотрона не возникало искр или даже дуги, это должна быть специальная лампа, выдерживающая такие напряжения между электродами. Кроме того, должна быть предусмотрена специальная изоляция в монтаже и трансформаторе. Ты можешь, в частности, заметить, что обратное напряжение полностью прикладывается между накальной обмоткой и магнитным сердечником, соединенным с шасси.





Н. — В общем наше устройство так же опасно для людей, как и для оборудования. Что же делать?

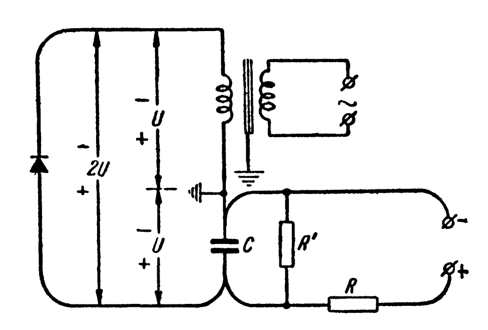
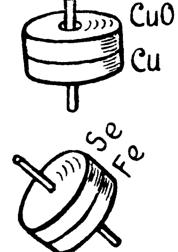


Рис. 119. Схема контактного выпрямителя позволяет вдвое уменьшить напряжение между обмоткой и сердечником трансформатора.



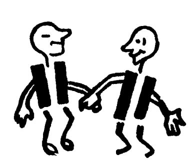
Л. — Можно несколько улучшить это положение, применяя контактные выпрямители (меднозакисные, селеновые или даже германиевые). Так как катод отсутствует, можно использовать схему (рис. 119), которую я опять-таки изображаю не вполне ортодоксально. Выпрямитель изображается в виде стрелы, острие которой указывает направление прохождения электронов. Выпрямитель и в этой схеме должен выдерживать обратное пиковое напряжение 2 U. Но между концом вторичной обмотки и сердечником максимальное напряжение не превышает U.

Н. — Все это далеко не утешительно. Когда речь идет о таких высоких напряжениях, должны возникнуть настоящие китайские головоломки в отношении изоляции!

Л. — Тогда предпочтительнее прибегнуть к умножителю напряжения.

Н. — Это еще что такое? Ты мне никогда о нем не говорил.

Л. — Принцип работы удвоителя напряжения понять нетрудно (рис. 120). Я тебе предоставляю возможность рассуждений, как мы это обычно делаем, по нашему методу.



Н. — Спасибо за честь! Я полагаю, что, например, во время первого полупериода электроны во вторичной обмотке выталкиваются слева направо. Они смогут тогда пройти через нижний выпрямитель и будут заряжать до напряжения U нижний конденсатор. Но, честное слово, Любознайкин, ты прав! Напряжения обоих конденсаторов складываются, и на выходе получается напряжение 2 U. Это поистине гениально!

Л. — Можно применить несколько иную схему (рис. 121), где во время первого полупериода ток проходит через верхний выпрямитель и заряжает

до напряжения U конденсатор, включенный последовательно со вторичной обмоткой. Во время следующего полупериода напряжение конденсатора добавляется к напряжению вторичной обмотки, так что выходной конденсатор заряжается через нижний выпрямитель, до 2 U вольт.

Н. — Все это похоже на какое-то колдовство.

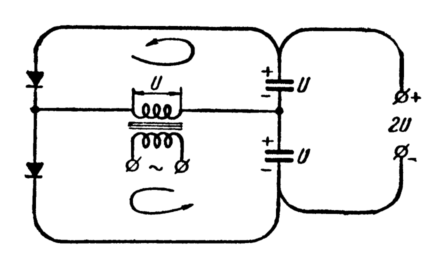


Рис. 120. Схема удвоителя напряжения, изображенная не совсем обычным образом с целью пояснения принципа ее работы.

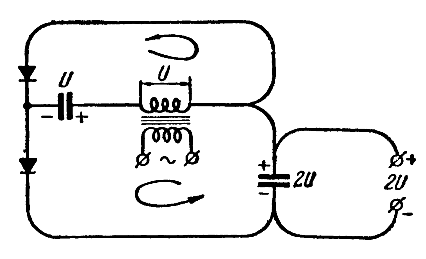
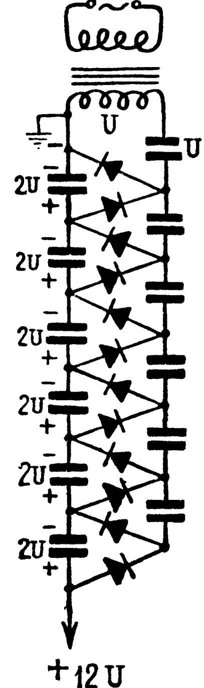


Рис. 121. Схема удвоителя, состоящая из тех же элементов, что и схема на рис. 120, но несколько иначе включенных.



Л. — Соединив каскадом ряд умножителей напряжения в современных устройствах для расщепления атомов, имена которых кончаются на «трон», достигают миллионов вольт.

Н. — Я уже слышал об этих циклотронах и прочих бетатронах. Но вернемся к нашим скромным электронно-лучевым трубкам, честолюбие которых измеряется не мегавольтами, а простыми киловольтами.

Много сопротивлений

Л. — Чтобы покончить с классической схемой из трансформатора и выпрямителя, можно отметить, что она далеко не безопасна и практически уже не встречается, по крайней мере в тех случаях, когда речь идет об электронно-лучевых трубках с повышенными напряжениями. Но зато она вполне пригодна для питания трубок с электростатическими фокусировкой и отклонением. Вот, например (рис. 122), схема такого питания, где, начиная с



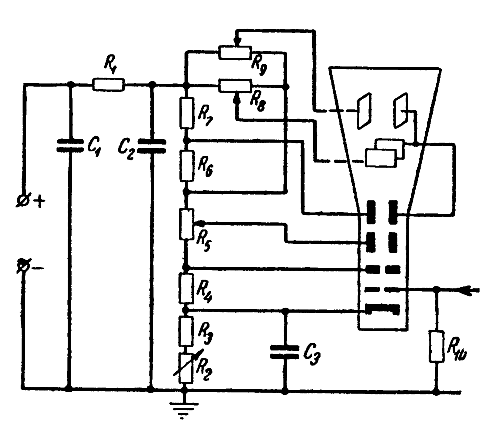
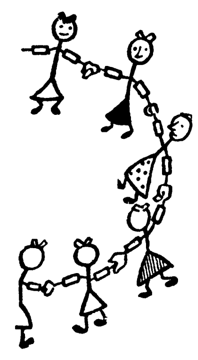


Рис. 122. Схема питания трубок с электростатическими фокусировкой и отклонением.



высокого напряжения, выпрямленного и отфильтрованного фильтрующей ячейкой с сопротивлением ($C_1R_1C_2$), все необходимые напряжения получают с помощью делителя напряжения.

Н. — Да, я вижу катод, которому задается положительный потенциал по отношению к шасси при помощи переменного сопротивления R_2, включенного последовательно с постоянным сопротивлением R_3. Управляющий элек-



трод трубки благодаря сопротивлению утечки R_{10} имеет потенциал шасси и поэтому отрицателен по отношению к катоду. Сопротивление R_2 служит для регулировки средней яркости. Возрастающие потенциалы трех анодов снимаются с цепочки сопротивлений R_4—R_7; благодаря потенциометру R_5 можно изменять потенциал второго анода, чтобы регулировать фокусировку пятна. Но я что-то не пойму, для чего служат потенциометры R_8 и R_9.

Л. — Средние точки этих потенциометров имеют тот же потенциал, что и третий анод (потому что $R_6=R_7$). С помощью движков потенциометров

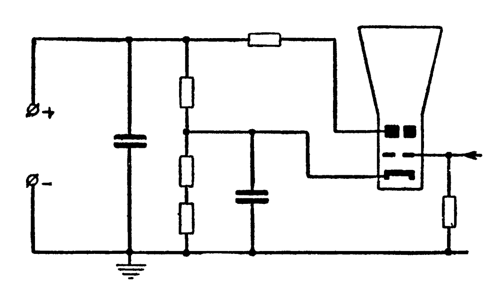
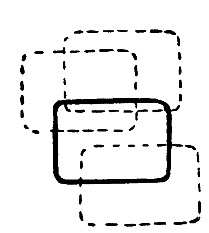


Рис. 123. Схема делителя напряжения, обеспечивающая на катоде регулируемое положительное напряжение.



средний потенциал отклоняющих пластин (одной из каждой пары) может быть установлен немного ниже или выше потенциала последнего анода (другой пластины каждой пары). Таким образом, можно регулировать среднее положение пятна как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, т. е. осуществить центрирование изображения путем перемещения его влево и вправо или вверх и вниз.



Н. — Это то же кадрирование, что и в кино, где стараются, чтобы изображение не перерезалось посредине, что вызывает свистки зрителей... Но скажи, Любознайкин, разве нельзя использовать такую же схему смещения на управляющем электроде для трубок с электромагнитной фокусировкой и отклонением?

Л. — Конечно, можно. Каков бы ни был способ получения высокого напряжения, всегда можно установить делитель напряжения (рис. 123), позволяющий подавать на управляющий электрод трубки отрицательное по отношению к катоду регулирующее напряжение и регулировать с его помощью яркость изображения.

Местное производство переменного тока



Н. — Ты мне дал совершенно ясно понять, что, кроме классической схемы получения высокого напряжения, которая тебе, по-видимому, абсолютно не нравится, существуют и другие. Так ли это?

Л. — Конечно. Основным недостатком классической схемы является слишком низкая частота выпрямленного тока, вследствие чего необходимо прибегать к конденсаторам фильтра со сравнительно большой емкостью. Заряд, накопленный на одной четверти микрофарады десятком киловольт, может оказаться смертельным, как я уже говорил. Но если выпрямить ток с частотой, например, 10 000 *гц*, то достаточно будет емкости, уменьшенной в 200 раз. А заряд такого конденсатора, кроме неприятных ощущений, не будет представлять никакой опасности, особенно при ограниченном зарядном токе.

Н. — Это выглядит более привлекательным. Но не думаю, что по твоему простому телефонному звонку инженеры электростанции ускорят вращение генераторов, чтобы снабдить тебя частотой 10 000 *гц*.

Л. — Я не создаю себе никаких иллюзий на этот счет. Потому-то я сам себя и обеспечу переменным током.

Н. — Вот как! Придется поместить небольшую машину переменного тока внутри телевизора!..

Л. — Да, но успокойся, она будет чисто электронной. Попросту применяют генераторную лампу, колебания которой на желаемой частоте используют для питания телевизора. Неважно, каким будет генератор — с настроенной сеткой или анодом, Хартли или еще какой-нибудь, может быть использо-

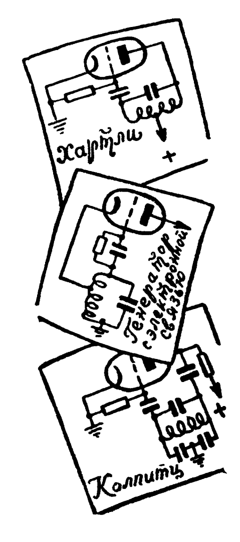
ван любой. Лишь бы возник ток; его используют так же, как в классической схеме выпрямления.

Н. — То есть?

Л. — Напряжение повышают при помощи вторичной обмотки с большим количеством витков, а выпрямляют его одноанодным кенотроном (рис. 124).

Н. — Я вижу, что ты нагреваешь нить кенотрона также током генератора от небольшой предусмотренной для этой цели обмотки.

Л. — Ну, и что же? Это изящнее, чем применение специальной вторичной обмотки на трансформаторе электропитания.



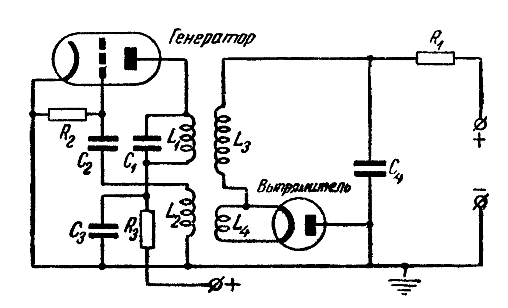


Рис. 124. Схема высоковольтного выпрямителя с использованием местного генератора и однополупериодного выпрямителя с фильтром.



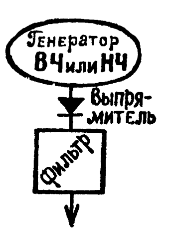
Н. — На какую частоту нужно настраивать генератор?

Л. — Можно использовать частоты, начиная с 500 вплоть до 250 000 *гц*. В первом случае трансформатор должен быть с железным сердечником, тогда как в высокочастотном генераторе можно не применять сердечника, что упрощает проблему изоляции.

Н. — С этим и здесь нужно считаться?

Л. — И как еще! Впрочем, чтобы избежать слишком большой разности потенциалов между соседними слоями обмотки, часто предпочитают наматывать катушку в виде плоской галеты с большим количеством слоев, но с небольшим числом витков в каждом из них.

Н. — Должен признаться, что идея вырабатывать на месте необходимый ток мне кажется весьма остроумной.



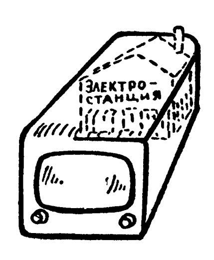
Порок превращается в добродетель

Л. — Конечно, хотя энергетический к. п. д. электронного генератора и не очень высок. Но в конечном счете можно обойтись и без него. Зачем, в самом деле, изготавливать этот маленький генератор переменного тока, если он уже существует в недрах телевизора.

Н. — Сегодня ты, видно, поклялся вещать языком сивиллы, чтобы подвергнуть мое любопытство самым жестоким испытаниям. Уж не намекаешь ли ты на гетеродин преобразователя частоты?

Л. — Нет, мой милый, хотя принципиально и можно было бы им воспользоваться в качестве источника переменного тока, если сделать его достаточно мощным. Но я думал о другом. Вспомни о перенапряжениях, которые возникают во время обратного хода на первичной обмотке строчного выходного трансформатора, связывающего отклоняющие катушки строк с генератором строчной развертки.

Н. — Да, действительно. Резкое изменение тока, вызванное спадом зуба пилы, является причиной описанных перенапряжений на первичной обмотке трансформатора, включенного в анодную цепь пентода генератора строчной развертки. И я помню, ты говорил, что порок может обратиться в добродетель, если использовать эти перенапряжения как источник высокого напряжения.



Л. — Решительно, твоя память продолжает восхищать меня. Ты видишь, что мы располагаем импульсами высокого напряжения, которые появляются с частотой развертки строк. Мы еще можем, если это нужно, увеличить напряжение при помощи дополнительной обмотки, образующей повышающий автотрансформатор (рис. 125).



Н. — Теперь я вижу, остается только выпрямить напряжение обычным способом. И здесь ты также нагреваешь нить кенотрона от обмотки на том же трансформаторе.

Л. — Обращаю твое внимание, Незнайкин, на дополнительное преимущество такого высоковольтного источника, наиболее совершенного из всех и получившего самое широкое применение в современных телевизорах. Если почему-либо развертывающее устройство выйдет из строя, неподвижное

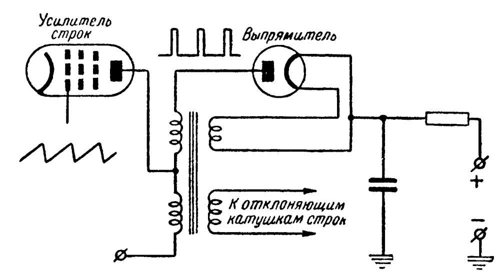
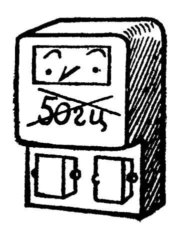


Рис. 125. Схема выпрямления импульсов высокого напряжения, возникающих на обратном ходу строчной развертки.



пятно может вызвать прожог светящегося экрана в этой точке. Но в схеме получения высокого напряжения за счет перенапряжения на обратном ходу строчной развертки при выходе из строя развертки исчезнет высокое напряжение, а следовательно, и само пятно.

Н. — Значит, электронно-лучевая трубка при такой системе не подвергается никакому риску. Вот, наконец, слово утешения после опасностей, о которых ты сегодня говорил... Спасибо!



БЕСЕДА СЕМНАДЦАТАЯ

Проблема приемной антенны, которой в радиовещании часто не придают особого значения, в телевидении играет существенную роль. Собрать в пространстве максимум энергии высокой частоты во всей полосе пропускания так, чтобы помехи и отраженные препятствиями волны не принимались, такова функция антенны, достойной этого наименования. Как должна быть устроена хорошая антенна? Чтобы ответить на этот вопрос, Любознайкин и Незнайкин постепенно рассмотрят следующие вопросы: распространение метровых волн; полуволновая антенна; проблема полосы пропускания; поляризация поля; распределение интенсивности тока; вибратор и снижение; отражения; согласование полных сопротивлений; волновое сопротивление; включение фидера; различные типы антенн; особенности петлевой антенны; повторные изображения; направленные антенны; действие рефлектора; директор; размеры пассивных элементов.

ЛОВУШКА ДЛЯ ВОЛН

Духовная пища

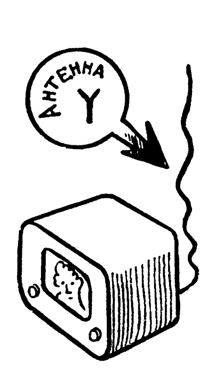
Незнайкин. — Теперь, когда мы узнали, как надо питать телевизор низким, анодным и высоким напряжениями...

Любознайкин. — Ты думаешь, что этого достаточно? Разве мог бы ты, дружище, довольствоваться одной материальной пищей?

Н. — Право не понимаю, какая еще духовная пища нужна телевизору.

Л. — Ты просто забыл. То, что в конечном счете должно оживить экран. Изображение, переносимое в форме видеосигнала на несущей частоте..

Н. — Очевидно. Но этот род питания меня очень мало беспокоит. Как и в радиоприемнике, кусочек проволоки, пышно именуемый антенной, нас вполне устроит.



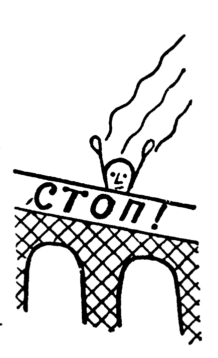
Л. — Вот уж в этом я совсем не уверен. Разве только, что ты окажешься по соседству с передатчиком, где поле очень интенсивно, а то твой кусочек проволоки окажется весьма жалкой антенной.

Н. — Что-то не вижу никакой разницы с радио.

Л. — Не забудь, что мы используем метровые волны, которые не очень-то далеко распространяются; с полной уверенностью их можно принимать только в пределах видимого горизонта. Проводящие препятствия их задерживают или сильно ослабляют, потому что, обладая прямолинейным характером, они не отличаются гибкостью более длинных волн, огибающих препятствия.

Н. — Отсюда следует, что приходится очень заботливо относиться к телевизионным антеннам.

Л. — Да, Незнайкин, антенна в телевидении — чрезвычайно важный элемент приемного устройства. При хорошем выполнении она с успехом заменяет один или два усилительных каскада высокой или промежуточной частоты. Вот почему нужно, чтобы мы вплотную занялись ее изучением... В то время как в радиовещании длина антенны намного меньше принимаемой волны, в телевидении эти длины соизмеримы, благодаря чему можно настроить антенну на принимаемую частоту.



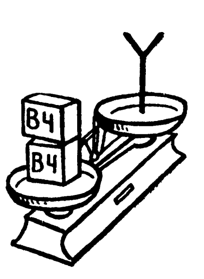
Н. — Но не будешь же ты утверждать, Любознайкин, что натянутая проволока является колебательным контуром, обладающим частотой настройки и резонансной кривой?!

Л. — Несомненно буду. Необходимо к тому же, чтобы резонансная кривая была достаточно широкой для пропускания не только всей полосы частот видеомодуляции, но и звукового сопровождения, передаваемого на соседней длине волны, так как изображение и звук нужно принимать на одну и ту же антенну.

Н. — Можно догадаться, что антенны, отвечающие всем этим условиям, достаточно сложны. У них должны быть конденсаторы для настройки и демпфирующие сопротивления для расширения полосы пропускания.

Л. — Ничего подобного, Незнайкин! Истина значительно проще. И ты ее откроешь, рассуждая логически. Ты знаешь, что такое волны?

Н. — Это электромагнитные поля, созданные током высокой частоты, протекающим по передающей антенне, которые отправляются на прогулку с поразительной скоростью 300 000 *км/сек.*



Л. — Твое определение по существу, хотя и не по терминологии, правильно. Ты знаешь, что эти волны порождают электродвижущую силу во всех проводниках, встречающихся на их пути. Можешь ты мне сказать, какое минимальное расстояние отделяет две точки пространства, между которыми волны создают в проводнике наибольшую разность потенциалов?



Н. — Достаточно представить себе поле в какой-то определенный момент в виде застывшей синусоиды, чтобы установить, что максимальная разность существует между вершинами положительного и отрицательного полупериодов, а эти вершины удалены одна от другой на половину длины волны (рис. 126).

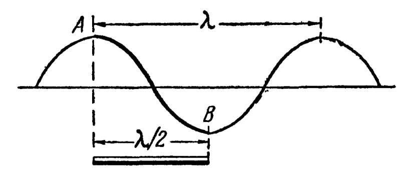
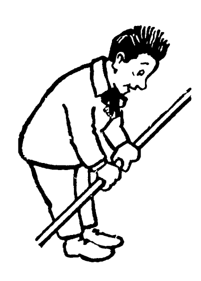


Рис. 126. Разность потенциалов между точками *A* и *B*, отстоящими друг от друга на половину длины волны, максимальна. Стержень с длиной $\frac{\lambda}{2}$ является полуволновой антенной.

Л. — И если взять металлический стержень, длина которого равна половине длины волны, то между его концами можно получить максимум напряжения. Такой стержень и является полуволновой антенной.

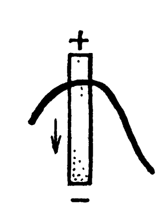
Настроенный стержень



Н. — В общем, волны, проходящие мимо твоего стержня, сообщают попеременно то положительный, то отрицательный потенциал одному из его концов, тогда как другой его конец становится соответственно то отрицательным, то положительным. Таким образом, за время одного полупериода электроны устремляются от одного конца к другому, затем во время следующего полупериода — в противоположном направлении.

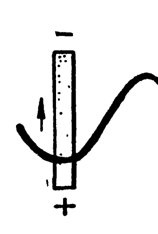
Л. — И заметь, что время, затрачиваемое током, чтобы пройти от одного до другого конца этой полуволновой антенны, как раз равно полупериоду волны, потому что скорость распространения тока равна скорости радиоволн.

Н. — Если я правильно понял, колебания электронов вдоль стержня естественно совершаются в такт волнам, которые их вызывают. Именно поэтому, без сомнения, ты сказал, что мы используем настроенные антенны.



Л. — Я употребил этот термин как раз в этом смысле. Предоставленные самим себе, электроны стержня колебались бы с той же частотой, если бы какой-нибудь начальный импульс нарушил их распределение вдоль проводника.. Правда, мое рассуждение имеет несколько отвлеченный характер, так как оно действительно для очень тонкого стержня, подвешенного в пустоте вдали от других проводников. В действительности же из-за соседства мачты, служащей опорой, крыши и почвы появляются емкости, которые увеличивают собственный период стержня. Чтобы правильно настроить его на принимаемые волны, нужно слегка укоротить его. В среднем его длина должна быть на 6% меньше половины длины волны.

Н. — Значит, если я хочу принять волну 6,03 *м*, соответствующую частоте 49,75 *Мгц*, то придется брать стержень длиной 3 *м* за вычетом 6%, т. е. около 2,83 *м*.

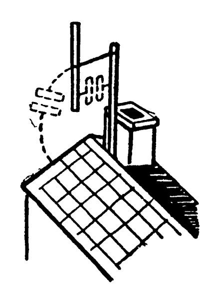


Л. — Это не совсем верно, так как нужно, кроме того, принять на ту же антенну звук, передаваемый на частоте 56,25 *Мгц*, т. е. на волне 5,34 *м*. Поэтому ты должен выбрать длину стержня немного меньше, порядка 2,75 *м*.

Н. — Но нужно тогда иметь довольно широкую полосу пропускания. От чего она зависит?

Л. — От диаметра стержня или, точнее, от отношения его длины к диаметру. Для получения достаточной полосы пропускания диаметр стержня не должен быть слишком малым. Практически используют трубки диаметром порядка 1—2 *см*, так как применять сплошные стержни нецелесообразно.

Н. — Я припоминаю, что токи высокой частоты протекают по поверхности проводников. Ты это называешь поверхностным эффектом. Интересно, нельзя ли сделать антенну из нескольких параллельных проволок, образующих нечто вроде цилиндра?



Л. — Такие антенны успешно применяются. Натяни с десяток проволок на обручи диаметром 10 *см*, и у тебя получится превосходная полуволновая антенна, имеющая вполне достаточную полосу пропускания.

Н. — Другой вопрос. Эти антенны должны устанавливаться горизонтально или вертикально?

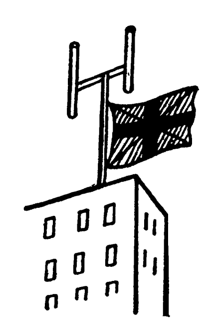
Л. — Это зависит от ориентации электромагнитного поля, или, как говорят, от направления его поляризации. Вертикальная передающая антенна излучает вертикально поляризованные волны. Их и принимать нужно на вертикальные антенны. На такие антенны работают в метровом диапазоне волн английские передатчики на 405 строк. Во всех же остальных странах,

кроме некоторых старых французских передатчиков, используется горизонтальная поляризация.

Н. — Если я правильно понял, в этом случае антенны передатчиков, так же как и приемников, должны быть расположены горизонтально?

Л. — Конечно. Однако распространение волн — явление в достаточной степени капризное и плоскость поляризации может в пути измениться. Поэтому иногда можно добиться лучшего приема, более или менее наклоняя приемную антенну.

Дом атомной эпохи



Н. — Мне кажется, что снижение, подводящее к приемнику ток от антенны, должно быть подключено к одному из концов стержня.

Л. — Ты что, серьезно думаешь, что там имеется ток?

Н. — Очевидно! Ведь между концами наибольшая разность потенциалов.

Л. — Да, но обращал ли ты внимание на то, в каком месте больше всего истерт ковер на твоей лестнице?

Н. — К чему ты говоришь какой-то вздор?

Л. — Чтобы тебе наглядно показать распределение напряжений и токов в стержне. Вообрази себе дом, построенный в предвидении атомных войн и имеющий по восьми надземных и подземных этажей. Все 16 этажей заселены примерно равномерно. Полагаешь ли ты, что ковер на лестнице будет изношен совершенно одинаково на всем его протяжении?

Н. — Нет. На крайние этажи пройдут только те, кто там живет: любители быть ближе к небу и опасающиеся бомбежек. Но по той части ковра, которая находится на уровне земли и которая ведет к выходу, пройдут все

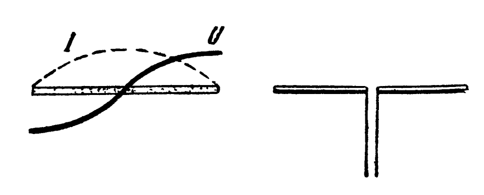
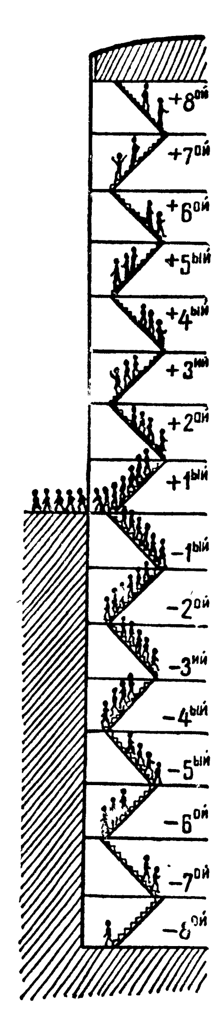


Рис. 127. Ток I максимален в центре полуволнового вибратора, тогда как разность потенциалов U максимальна между его концами. Чтобы получить максимальный ток, стержень посредине разрезают и включают в этом месте двухпроводный кабель снижения.



жильцы, как пользующиеся дневным светом, так и троглодиты, обреченные на пользование электрическим светом. Износ ковра в этом месте будет гораздо более заметен.

Л. — А ты не замечаешь сходства между обитателями нашего атомного жилища и электронами стержня?

Н. — Понял! По концам стержня проходят только малочисленные электроны, населяющие концы. Но по мере приближения к центру стержня количество электронов, составляющих ток, увеличивается; к ним прибавляются все электроны промежуточных частей стержня. В центре ток наиболее интенсивен, это целая толпа электронов (рис. 127)!

Л. — Видишь, мой пример намного облегчил рассмотрение существенного вопроса. Теперь, когда ты знаешь, где ток интенсивнее всего, ты поймешь, что именно из середины стержня его нужно выводить, чтобы направить к приемнику.

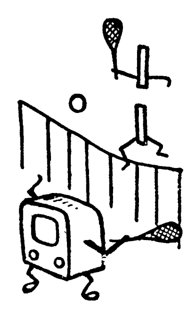
Н. — Но, дорогой Любознайкин, как ты думаешь поступить? Чтобы воспользоваться этим током, нужно каким-то образом включить входную цепь приемника в центр колебательного стержня. А это невозможно!

Л. — Почему невозможно? Разрежь стержень посредине и подведи ток к входной цепи с помощью двух параллельных проводников. У тебя получится классическая и самая распространенная из телевизионных антенн: полуволновая антенна, или вибратор, образованный из двух четвертьволновых стержней. Правда, стержни в действительности короче на 6%, чем четверть длины волны. Расстояние между внутренними концами стержней должно составлять несколько сантиметров, и они закрепляются при помощи изоляторов на мачте.

Размышления об отражениях

Н. — Такие антенны мне приходилось видеть. И я заметил, что снижение действительно идет из центра антенны.

Л. — Правильно. Роль снижения (фидера) чрезвычайно важна. Нужно, чтобы оно наилучшим образом обеспечивало передачу на приемник энергии



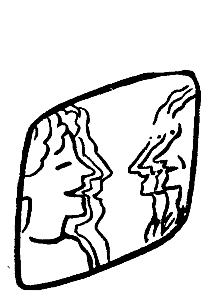
из антенны. На столь высоких частотах, какие мы используем, задача эта непроста. Нужно, в частности, избегать отражения энергии в снижении.

Н. — Что ты таким образом называешь?

Л. — Если снижение плохо согласовано с одной стороны с антенной, а с другой с входной цепью приемника, то поступающая туда энергия высокой частоты может попасть во входную цепь только частично. Остальная часть отразится по направлению к антенне, которая в свою очередь частично отразит ее к приемнику, и т. д.

Н. — В общем плохая передача, выполненная в несколько приемов, вместо одновременной передачи. А каковы будут практические последствия этого?

Л. — На экране появятся многократные изображения. Кроме основного изображения, воспроизведенного первым и наиболее значительным потоком энергии, возникнут другие изображения, обусловленные последовательными отражениями энергии, более слабые и слегка смещенные по отношению к первому. Смещение происходит оттого, что за время этого короткого интер-



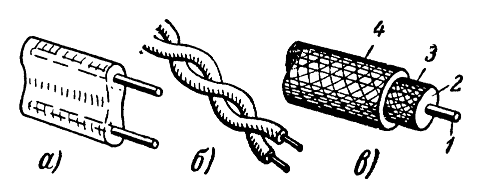


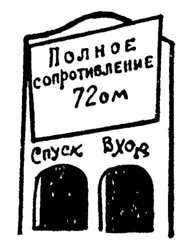
Рис. 128. Различные типы кабелей для снижения антенны.

а — симметричный двухпроводный кабель, заключенный в полиэтиленовую ленту; *б* — витые провода; *в* — коаксиальный кабель (*1* — центральная жила; *2* — диэлектрик; *3* — металлическая оболочка; *4* — защитная изолирующая оболочка).

вала электронное пятно успеет слегка переместиться. Обычно такие смещенные изображения называют повторными изображениями или просто повторами.

Н. — Сам того не желая, я получал такие отражения, занимаясь фотографией. Стоит в процессе печати чуть-чуть сдвинуть негатив по отношению к бумаге, как получается аналогичный результат.

Л. — Хотя это и любопытное явление, но избегать его нужно любой ценой. Для этого характеристическое (волновое) сопротивление снижения, с одной стороны, должно быть равно полному сопротивлению антенны в центре, а с другой — входному полному сопротивлению приемника.



Н. — Клянусь электродом! Что это еще такое, все эти полные сопротивления?

Л. — Я мог бы ответить тебе весьма изящным пируэтом, сказав, что в соответствии с высшим законом — законом Ома — речь идет в обоих случаях об отношении напряжения к величине тока. Это тебе немного объяснило бы. Поэтому лучше сказать, что всякая антенна обладает сопротивлением,

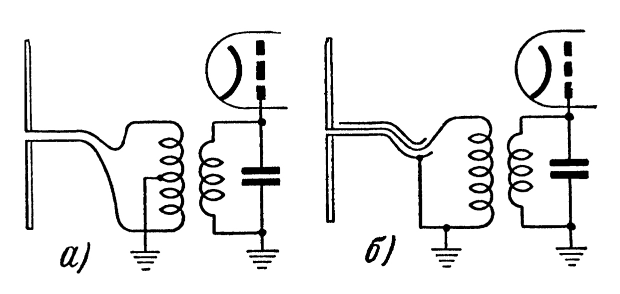
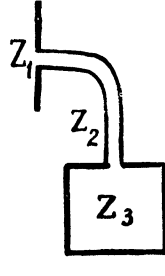


Рис. 129. Схемы включения снижений.

а — симметричного кабеля; *б* — коаксиального кабеля.



емкостью и индуктивностью и в соответствии с этим некоторым кажущимся сопротивлением, называемым также полным сопротивлением. Полное сопротивление полуволнового вибратора в центре равно приблизительно 72 *ом*. Снижение также имеет сопротивление, емкость и индуктивность, распределенные по всей длине. Результирующее полное сопротивление называется волновым сопротивлением. И, наконец, входная цепь приемника также обладает некоторым полным сопротивлением.

Н. — Если я тебя правильно понял, чтобы все шло хорошо и энергия антенны была без отражений передана приемнику, достаточно, чтобы волно-

вое сопротивление снижения и входное полное сопротивление приемника были равны по 72 *ом*.

Л. — Ты не ошибаешься. Бывают разные типы кабелей с таким волновым сопротивлением, применяемые для снижения (рис. 128): двухпроводные линии, состоящие из двух параллельных проводов, заключенных в полиэтилен; двухпроводные линии, окруженные защитной металлической оболочкой (экраном); витые провода, подобные применяемым для осветительной проводки; наконец, коаксиальные кабели, состоящие из внутреннего провода или центральной жилы и второго провода в виде наружного металлического экрана, покрытого защитной оболочкой. Для всех двухпроводных снижений применяют симметричную входную цепь, причем отвод от средней точки первичной обмотки входного трансформатора присоединен к шасси, а в случае применения коаксиального кабеля обычно с шасси соединяются металлический экран и соответственно один из концов входной обмотки (рис. 129).



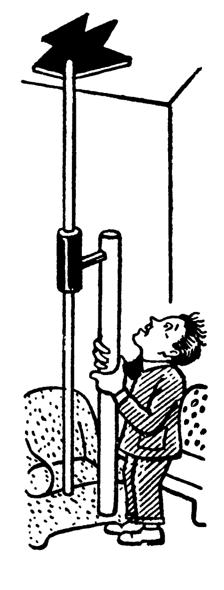
Изобилие полных сопротивлений

Н. — Обязательно ли нужно ставить антенну на крыше?

Л. — Не всегда. В благоприятных случаях, т. е. на сравнительно близком расстоянии от передатчика, можно довольствоваться комнатной антенной.

Н. — Но в зависимости от длины волны, на которой работает передатчик, размеры вибратора могут быть около 2—3 *м*. Что-то такая антенна не вяжется с представлением о гостиной.

Л. — Длину можно значительно сократить, увеличив индуктивность антенны с помощью катушки, включенной между двумя стержнями вибратора (рис. 130). Все это вместе настраивается на необходимую волну. Правда,



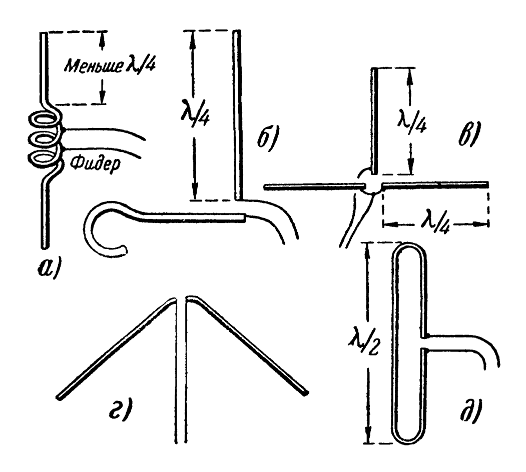
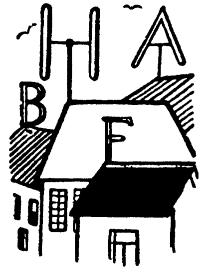


Рис. 130. Несколько вариантов антенн с четвертьволновыми вибраторами.

а — с дополнительной индуктивностью; *б* — перевернутая Г-образная; *в* — перевернутая Т-образная; *г* — перевернутая *U*-образная; *д* — петлевая.

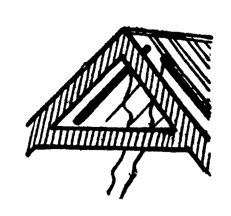


эффективность в этом случае будет несколько меньше эффективности нормального вибратора. Можно также в комнатной антенне согнуть стержни вибратора под углом 90°. Напомню тебе еще о двух типах малогабаритных антенн: перевернутых Т- и U-образных антеннах. Антенна последнего типа очень удобна для установки под стропилами чердака.

Н. — А что делать, если входное полное сопротивление приемника больше 72 *ом*? Можно ли применять трансформатор полных сопротивлений?

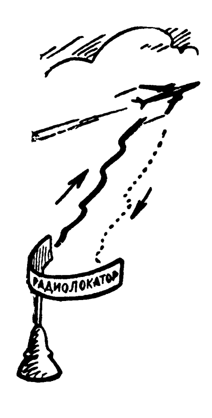
Л. — Да, так и делают. Но существуют другие типы антенн, с более высоким сопротивлением. Так, включив параллельно полуволновому вибратору стержень длиной в полволны, получают антенну петлевого типа. Ее сопротивление в центре равно 300 *ом*. Такая антенна интересна тем, что ее сопротивление можно варьировать путем изменения отношения диаметров вибраторов и параллельного стержня.

Н. — Я что-то сильно опасаюсь, что с телевизионными антеннами происходит то же, что и с лекарством от насморка. Уже одно их несметное количество показывает, что ни одно из них не радикально. И в телевидении, вероятно, нет идеальных антенн.



Л. — Как и в других областях, идеал всегда недостижим. Но антенны, которые я тебе описал, обычно обеспечивают хороший прием, когда электромагнитное поле достаточно интенсивно в месте приема и когда нечего опасаться повторных изображений.

Опять отражения



Н. — А как они возникают?

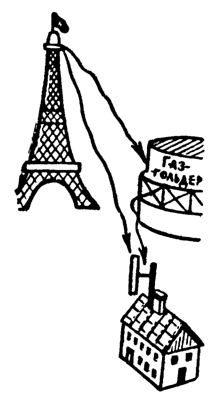
Л. — Ты ведь знаешь, что проводящие тела, размеры которых во много раз больше длины волны, способны отражать волны.

Н. — Знаю, потому что в этом заключается принцип радиолокации, где используются волны достаточно короткие, чтобы их могли отражать такие небольшие объекты, как самолеты. Более длинные волны отражаются от ионизированного слоя атмосферы и какой-то жалкий самолет не может быть для них зеркалом.

Л. — Значит, ты понимаешь, что метровые волны, применяемые в телевидении, могут отражаться от многих проводящих поверхностей: металлических мостов, газгольдеров, железных заводских труб или даже обычных построек из железобетона. Из-за этих отражений, особенно частых в больших населенных пунктах, приемная антенна будет принимать, кроме волн, идущих прямо от передатчика, те, которые направляются к ней после отражения (а то и двух отражений). Так как путь отраженных волн длиннее, чем прямых волн...

Н. — ...Дай мне докончить это рассуждение, которое я уже когда-то высказывал, когда мы рассматривали явления замирания. Так как оба пути не равны, то и волны придут не в одной и той же фазе. Если они придут в противофазе, то результатом этого будет ослабление. Если же они придут в фазе, то они взаимно усилятся и все будет в порядке!

Л. — Нет, Незнайкин, даже и в этом случае не все будет в порядке. Ибо из-за разницы во времени прихода прямого и отраженного сигналов на экране появится второе, повторное изображение, смещенное по отношению к первому вправо на интервал, как раз пропорциональный этой разнице во времени.



Н. — Мне думается, что при измерении на экране расстояния, отделяющего основное изображение от повторного, можно было бы вычислить разность времени прихода волн.

Л. — Нет ничего легче. На экране шириной 30 *см* при развертке в 625 строк пятно пробегает около 5 000 *м* в секунду. Эта скорость, как бы почтенна она ни была, в 60 000 раз меньше скорости электромагнитных волн. Следовательно, в то время как пятно пробегает по экрану 1 *мм* (а это происходит за $^1/_{5\,000\,000}$ *сек*), волны проходят 60 *м*. Если повторное изображение сместилось на экране телевизора на 5 *мм*, то разность путей составляет 300 *м*, что дает возможность иногда установить с полной уверенностью проводящую поверхность, виновную в злодеянии.

Н. — А если это газгольдер или металлическая башня, мне остается только взорвать их с помощью динамита?

Л. — Чтобы устранить вторичное изображение, вовсе нет необходимости прибегать к таким варварским мерам. Часто достаточно использовать направленную антенну, чтобы в значительной степени ослабить, а то и совсем уничтожить повторное изображение, являющееся результатом отраженной волны.

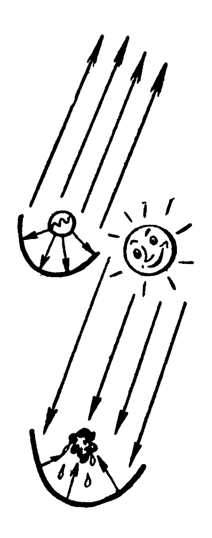
Буква Н на крышах

Н. — Я знал, что при передаче используются направленные антенны, чтобы улучшить распространение волн в определенном направлении. Я знаю даже, что можно благодаря рефлектору сосредоточить короткие волны в узкий пучок наподобие пучка, отраженного маяком с параболическим зеркалом. Но я не знал, что приемная антенна может быть направленной и способной принимать преимущественно волны, идущие из заданного направления.

Л. — Большое количество явлений природы обладает обратимостью. Ты вспомнил только что о маяке с параболическим зеркалом, которое отражает в виде параллельных лучей свет, излученный источником в его оптическом фокусе. И, наоборот, если улавливать при помощи такого зеркала солнечные лучи, то оно будет концентрировать их в фокусе, где возникшая при этом теплота сможет расплавить кусок металла.

Н. — Значит, направленная антенна будет одинаково работать и при передаче и при приеме. Нам остается лишь применить одну из таких антенн,

снабженных целой сетью проводов, образующих зеркало, и мы освободимся от повторных изображений.



Л. — Такое решение было бы радикальным, но и довольно дорогим. Однако, использовав только три — пять проводов из всей совокупности, образующих цилиндро-параболическое зеркало, можно получить достаточную направленность; кроме того, можно собрать больше энергии, что окажется весьма полезным при большом удалении от передатчика. Вообще даже один отражающий проводник дает заметное улучшение усиления и обеспечивает некоторую направленность. Этот проводник чуть-чуть большей длины, чем вибратор, помещается за ним на расстоянии четверти волны.

Н. — Решительно, Любознайкин, я тебя что-то перестаю понимать. Можно еще допустить, что три провода могут отдаленно походить на параболический рефлектор. Но один!..

Л. — А ты, Незнайкин, подумай немного. Ты бы сообразил, что рефлектор также принимает волны, вызывающие в нем токи. Эти токи в свою очередь вызывают волны, которые, попадая на вибратор, усиливают в нем ток.

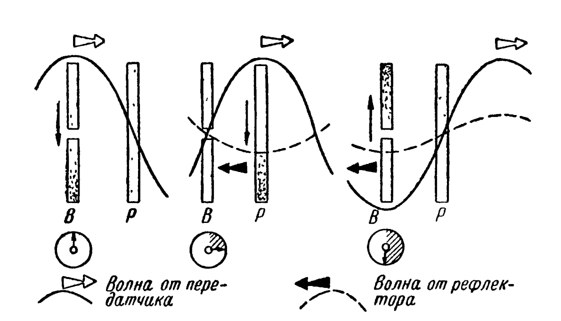
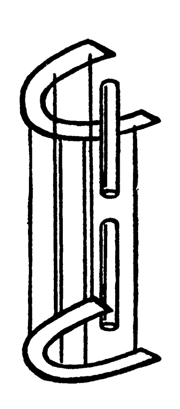
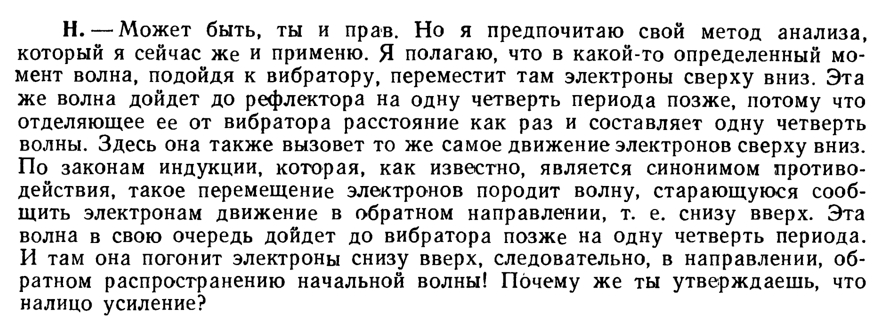


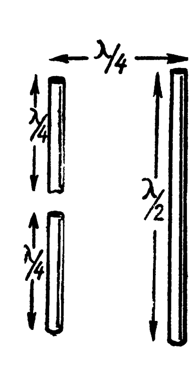
Рис. 131. Положение волн, приходящих от передатчика и от рефлектора, и движение электронов в вибраторе B и рефлекторе P в три последовательных момента времени, отстоящих друг от друга на четверть периода.





Н. — Может быть, ты и прав. Но я предпочитаю свой метод анализа, который я сейчас же и применю. Я полагаю, что в какой-то определенный момент волна, подойдя к вибратору, переместит там электроны сверху вниз. Эта же волна дойдет до рефлектора на одну четверть периода позже, потому что отделяющее ее от вибратора расстояние как раз и составляет одну четверть волны. Здесь она также вызовет то же самое движение электронов сверху вниз. По законам индукции, которая, как известно, является синонимом противодействия, такое перемещение электронов породит волну, старающуюся сообщить электронам движение в обратном направлении, т. е. снизу вверх. Эта волна в свою очередь дойдет до вибратора позже на одну четверть периода. И там она погонит электроны снизу вверх, следовательно, в направлении, обратном распространению начальной волны! Почему же ты утверждаешь, что налицо усиление?

Л. — Бедняга! Твое так хорошо начатое рассуждение провалилось со всеми выводами всего-навсего потому, что ты забыл одно важное обстоятельство. Между моментами, когда начальная волна прошла через вибратор и когда волна вернулась от отражателя, прошло время, равное одному полупериоду (рис. 131). Таким образом, в момент, когда волна, пришедшая от отражателя, начнет перемещать электроны вибратора снизу вверх, волна, которая туда в это время придет от передатчика, будет уже иметь фазу, противоположную фазе, которая была полпериода назад. А она также...



Н. — ...переместит электроны снизу вверх! Ты прав. Теперь я понимаю, что отражатель увеличивает усиление антенны. И я понимаю, что оно максимально для волн, приходящих со стороны вибратора. Для источников, расположенных сбоку или сзади, он неэффективен.

Л. — Антенна с отражателем наиболее употребительна в Англии. Вместе с поперечным поддерживающим брусом вибратор и рефлектор образуют букву Н. Крыши домов, где распространено телевидение, покрыты целым лесом Н, характерным для английского городского пейзажа.



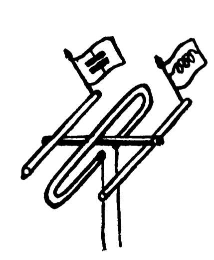
Директор в роли объектива

Н. — Жаль, что нельзя, как в оптике, концентрировать волны не только с помощью рефлекторов, но и с помощью объективов. Тогда была бы аналогия с телескопами и подзорными трубами астрономов.

Л. — Следует остерегаться слишком далеко идущих аналогий. Однако есть одно приспособление, которое в известной мере можно грубо уподобить объективу: это директор.

Н. — Не имеешь же ты в виду директора телевизионного центра.

Л. — Хватит этой несносной игры слов. Директором называют проводник, немного более короткий, чем вибратор, и помещенный перед ним в направлении на передатчик, тогда как рефлектор длиннее вибратора и помещается за ним. Директор редко применяется в сочетании только с вибратором, но его часто добавляют к Н-образной антенне, направленность которой, так же как и усиление, он усиливает (рис. 132).



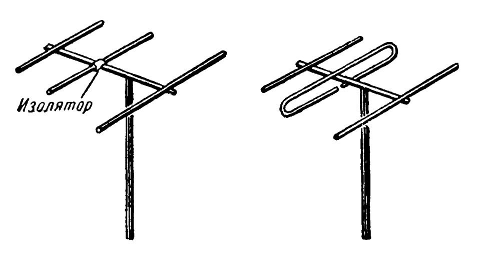


Рис. 132. Направленная антенна с рефлектором и директором.

а — с полуволновым вибратором; *б* — с петлевым вибратором.



Н. — Но, кроме небольшой разницы в размерах, директор похож, как близнец, на рефлектор. Как же получается, что действие его как раз противоположно?

Л. — Небольшая разница, о которой ты говоришь, является решающей. Рефлектор длиннее вибратора и его сопротивление имеет индуктивный характер. Директор же короче, и его сопротивление имеет емкостный характер. Это значит, что они по-разному изменяют фазу отраженных волн. Не вдаваясь в подробности, отмечу лишь, что размеры этих элементов (так называемых пассивных в отличие от активного элемента — вибратора) в достаточной степени критичны. Кроме того, в случае их наличия уменьшается полное сопротивление в центре антенны и притом тем значительнее, чем они ближе расположены к вибратору, так как расстояние в одну четверть волны необязательно. Чтобы полное сопротивление не оказалось слишком малым, простой вибратор чаще всего заменяют петлевым.

Н. — Мне кажется, дорогой Любознайкин, что ты сегодня немного злоупотребил собирательной способностью той антенны, которой является мой бедный мозг...

БЕСЕДА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

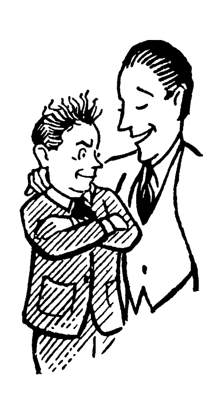
До сих пор Любознайкин и Незнайкин изучали технику передачи одноцветных или монохромных изображений, называемых также черно-белыми[1]*. Следуя примеру кинематографа, телевидение станет рано или поздно цветным, давая возможность воспроизводить изображения в их естественных цветах. Передача цветных изображений является очень сложной проблемой, для решения которой существует ряд методов, излагаемых Любознайкиным в настоящей беседе. Он последовательно разберет: принцип трехцветности; разложение на основные цвета и восстановление изображения; одновременную передачу трех цветовых составляющих изображения; метод последовательной передачи; дисковый или барабанный фильтр; проблему модуляционных полос; чередование растров, строк и точек; дихроичное зеркало; трехцветный экран; трубку с тремя пушками и маской.*

ВСЕ ЦВЕТА РАДУГИ

Анализ и синтез

Любознайкин. — Почему у тебя такое плохое настроение и разъяренный. вид?

Незнайкин. — Потому что я только что видел фильм, цвета которого вывели меня из себя, настолько они были кричащими. Как хорошо, что телевидение не цветное!



Л. — Не очень-то радуйся. Уже существует цветное телевидение. Но добавлю для твоего успокоения, что цвета его более естественны, чем в кино.

Н. — Ну, уж если так, не мог бы ты объяснить в нескольких словах, каким образом передают цветные изображения.

Л. — Было предложено и испробовано несколько систем. Все они основаны на принципе трехцветности.

Н. — Думаю, что ты под этим подразумеваешь возможность воспроизводить все цвета и оттенки с помощью трех основных цветов — красного, синего и желто-зеленого, смешивая их в соответствующих пропорциях.

Л. — Браво, Незнайкин! Я не знал, что ты так хорошо в этом разбираешься.

Н. — Я узнал все это, посетив типографию, где печатали цветные репродукции. Я видел, что последовательно печатали красной, синей и желтой краской. Да, впрочем, рассматривая в лупу трехцветную репродукцию, можно обнаружить, что она состоит из расположенных рядом красных, синих и желтых точек. Глаз же синтезирует эти три основных цвета, что несколько схоже с картиной импрессионистской школы.

Л. — Решительно, ты меня не перестаешь сегодня поражать. Оказывается, ты разбираешься в вопросах живописи!

Н. — Ты что же, принимаешь меня за невежду?.. Вернемся, однако, к предмету нашего разговора. Я полагаю, что для передачи цветного изображения нужно сделать то же, что и в типографии: разложить его на три изображения в основных цветах и наложить одно на другое для синтеза.

Л. — В общем, по-твоему нужно для получения цветного изображения начать с трех изображений: красного, синего и зеленого. А как бы ты это сделал?



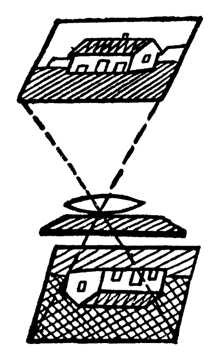
Н. — При помощи фильтров соответствующих цветов. Например, проецируя изображение через красное стекло, мы и получим красное изображение, где яркость каждого элемента изображения будет зависеть от количества красного света, отражаемого соответствующей поверхностью передаваемого изображения. Таким образом, красные части будут самыми яркими и, наоборот, так как красный свет не отражается от синих и зеленых частей изображения, они будут совершенно черными в изображении, рассматриваемом через красный фильтр.

Л. — Да, это правильно. Следовательно, у нас окажутся три изображения, которые мы назовем красным, синим и зеленым. Что ты с ними будешь делать?

Н. — Нет ничего проще (рис. 133). Я их передам обычным телевизионным способом. В месте приема каждое изображение будет воспроизведено на

---

[1] Широко распространенный термин «черно-белое изображение» нельзя признать удачным, так как он относится скорее к изображениям с двумя градациями яркости в отличие от полутоновых. *Прим. ред.*



экране соответствующей электронно-лучевой трубкой. Но у меня будет красное стекло перед тем изображением, которое должно быть красным, синее стекло — перед синим и зеленое — перед зеленым. Накладывая оптически все три изображения одно на другое, а такой способ не может не существовать, я восстановлю первоначальное изображение в его естественных цветах... Я сказал какую-нибудь глупость?

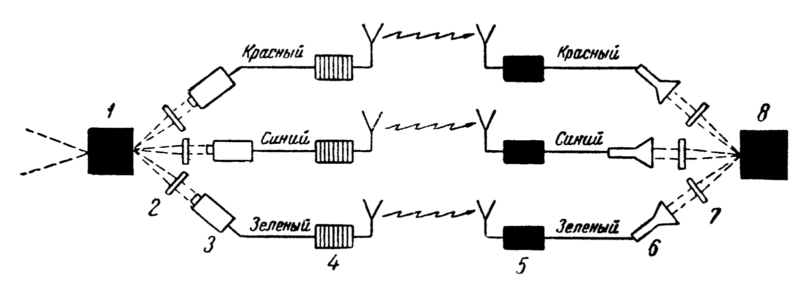
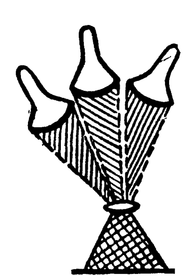


Рис. 133. Система передачи цветных изображений с тремя полными каналами, в которой изображения в трех основных цветах передаются одновременно.

1 — оптическая система, расщепляющая изображение на три канала; *2* — цветные фильтры; *3* — передающие камеры; *4* — телевизионные передатчики; *5* — телевизионные приемники; *6* — электронно-лучевые трубки; *7* — цветные фильтры; *8* — оптическая система, совмещающая три цветоделенных изображения.



Л. — О нет. То, что ты говоришь, вполне разумно. Система цветного телевидения, осуществленная по этой схеме, достаточно успешно работала. Вопреки трудностям, возникающим в связи с накладыванием трех изображений одно на другое, результат был удовлетворительным.



Одновременно или последовательно?

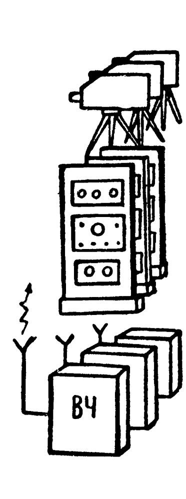
Н. — Однако, если судить по тону, каким ты это сказал, должно быть и какое-то «но».

Л. — А разве для тебя это не ясно? Подумай, ведь приходится устраивать все элементы линии передачи: три телевизионные камеры, три видеоусилителя, три передатчика, три приемника и три приемные электронно-лучевые трубки!..

Н. — Я признаю, что это и в самом деле должно дорого стоить и, сверх всего, чрезвычайно перегружать эфир... Какое же решение следует считать правильным?

Л. — Вернись, Незнайкин, к первым представлениям, полученным тобою в телевидении. Ты тогда узнал, что вместо одновременной передачи различных точек одного изображения...

Н. — ...их передают последовательно. Понял! Здесь решение также состоит в том, чтобы последовательно передавать через один и тот же передающий канал красное, синее и зеленое изображения. При условии достаточно быстрого ритма поочередной передачи цветное изображение будет синтезировано в силу инерции зрительных восприятий.



Л. — Этот метод можно признать более удачным. Однако не думай, что передается сначала полностью изображение одного цвета, затем другого и, наконец, третьего. Ведь (если только не передавать в секунду чрезвычайно большое количество кадров) мы рискуем столкнуться с явлением мерцания.

Н. — Почему же?

Л. — Предположи, что некоторая часть изображения чисто синего цвета. В этом случае она будет передана только 1 раз за три последовательных кадра, так как в красном и зеленом изображениях она не засветит приемного экрана. В глазу появится ощущение легкого мерцания соответствующей части изображения, являющегося следствием относительно длинных интервалов затемнения между двумя моментами освещения.

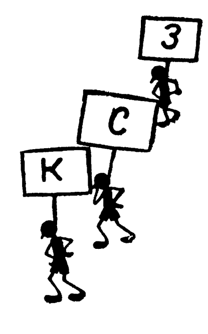
Н. — Я знаю, что ты воздвигаешь препятствия единственно ради удовольствия, чтобы затем подуть на них и уничтожить. Доставь же и мне удовольствие и подуй на эти мерцания!

Л. — Предоставляю это тебе. Припомни-ка, что в монохромном телевидении обеспечивается лучшая непрерывность зрительных ощущений...

Н. — ...путем чересстрочной развертки: развертывают сначала нечетные строки, затем четные.

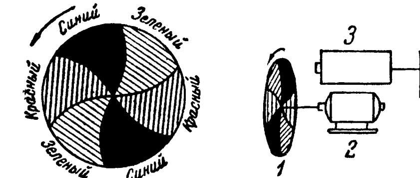
Л. — Тот же принцип чередования может быть применен для передачи цвета многими методами.

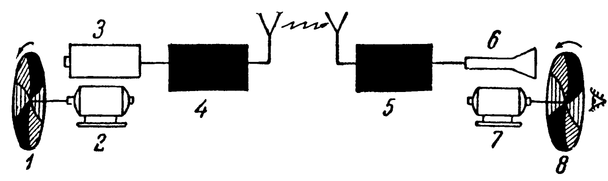
Н. — Ты хочешь сказать, что можно, например, передавать изображение, изменяя цвета для каждого полурастра?



Красно-сине-зеленый диск

Л. — Конечно. Вот, например, одна из современных систем (рис. 134), в которой используют фильтры, последовательно проходящие перед передающей телевизионной камерой и экраном приемной трубки. Фильтры состоят из цветных пленок, укрепленных на вращающихся дисках. Безусловно, должна быть обеспечена строгая синхронизация между движениями обоих дисков при





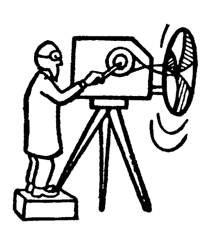


Рис. 134. Система с черескадровой передачей цветоделенных изображений.

1 — диск с цветными фильтрами передатчика; *2* — электродвигатель; *3* — передающая камера; *4* — телевизионный передатчик; *5* — телевизионный приемник; *6* — электронно-лучевая трубка; *7* — электродвигатель; *8* — диск с цветными фильтрами приемника.

приеме и передаче. Для этого посылаются специальные сигналы в начале каждого оборота.

Н. — Я вижу, что каждый диск имеет шесть фильтров: красный, синий, зеленый, затем опять красный, синий и зеленый. На мой взгляд, достаточно было бы и трех фильтров.

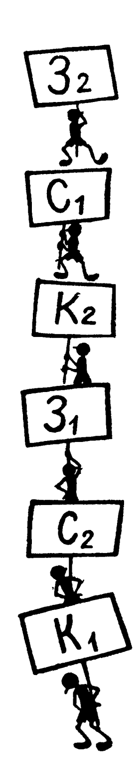
Л. — Безусловно. Но при шести фильтрах удается вдвое уменьшить скорость вращения; а это важно, так как центробежные силы, развивающиеся в диске, значительны и могут разорвать его. Учти, что они учетверяются при вдвое более быстром вращении.

Н. — В общем пока один фильтр определенного цвета проходит перед передающей камерой и приемной трубкой, мы развертываем, вероятно, не все изображение целиком, а один из двух полурастров четных или нечетных строк.

Л. — Вот именно. И, сделав небольшое усилие, тебе удастся, может быть, определить, как происходит разложение изображения за время одного оборота диска.

Н. — Будем считать для начала, что перед камерой находится красный сектор и что разложение начинается с полурастра нечетных строк. Получатся, следовательно, шесть следующих фаз: 1) красное, строки нечетные; 2) синее, строки четные; 3) зеленое, строки нечетные; 4) красное, строки четные; 5) синее, строки нечетные; 6) зеленое, строки четные. А затем все начинается сначала.

Л. — Ты можешь заметить, что в этой системе за время одного оборота каждое изображение было полностью развернуто в каждом из трех основных цветов как для четных, так и для нечетных строк. Но растры оказались перемежающимися. Это так называемая черескадровая передача.



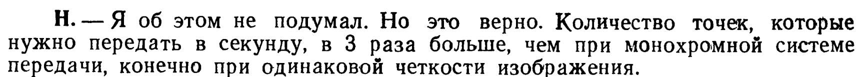
К головокружительным частотам

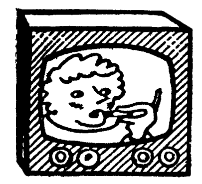
Н. — А какова частота кадров при такой системе?

Л. — Развертываются 24 кадра (или 48 полурастров) в секунду в каждом из трех цветов, что составляет 72 кадра, или 144 растра, в секунду.

Н. — Клянусь ортиконом! Значит, диск делает 72 *об/сек*, или 4 320 *об/мин?!*

Л. — Правильно! Но не это является наиболее неприятным следствием повышенной кадровой частоты. Поистине катастрофична очень высокая частота видеосигнала.

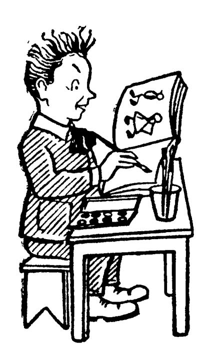




Н. — Я об этом не подумал. Но это верно. Количество точек, которые нужно передать в секунду, в 3 раза больше, чем при монохромной системе передачи, конечно при одинаковой четкости изображения.

Л. — Чтобы боковые модуляционные полосы не были чрезмерной ширины, несколько снижают четкость разложения, т. е. количество строк, по сравнению с монохромной системой. Глаз настолько удовлетворен ощущением жизненности и даже глубины, которые цвета придают изображению, что он легко мирится с меньшей четкостью, даже не отдавая себе в этом отчета.

Однако существуют другие, более остроумные методы, позволяющие ограничивать ширину боковых полос, не слишком жертвуя деталями изображения. Практически они состоят в том, что изображение передается в черном цвете с максимальной четкостью, а к нему добавляют трехцветные изображения, сравнительно менее четкие и соответственно занимающие довольно узкие полосы частот при передаче. Результат получается вполне удовлетворительным.



Н. — Ну, конечно. Я знал об этом с детства.

Л. — ?..

Н. — Ну, да. Когда мне давали альбомы с картинками для разрисовки, я на них размазывал широкие цветные полосы. Это не мешало картинкам сохранять все детали, прекрасно отпечатанные черным цветом.

Л. — Вижу, что цветное телевидение кажется тебе очень простым.

Н. — Возможно. Но система, которую ты мне описал, мне не нравится. Я шокирован этим вращающимся диском с фильтрами.

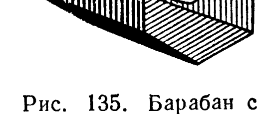


Рис. 135. Барабан с цветными фильтрами.

Л. — Ну, это пустяки Его часто заменяют вращающимся барабаном с фильтрами (рис. 135), окружающим трубку.

Н. — Диск или барабан, мне все равно. Мне претит наличие движущихся частей. У меня такое впечатление, что мы пятимся назад, чтобы вернуться к старой системе с диском Нипкова, давно уже забытой.

Л. — Я не разделяю твоего мнения. Незнайкин, ведь само-то изображение здесь получается чисто электронными методами. Но раз ты питаешь непобедимое отвращение к вращающимся механическим частям, могу сообщить, что существует ряд цветных систем на 100% электронных.



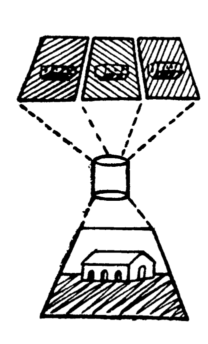


О некоторых превращениях

Н. — Вот это я предпочитаю. Есть что-то чудесное в таких приборах, как-будто неподвижных, но где происходят сложные явления, повторяющиеся миллионы раз в секунду... Но мне неясно, как без дисков, барабанов... и труб можно разделить изображение на три основных цвета.

Л. — Не вдаваясь в подробности, скажу, что можно, например, использовать объективы, делящие изображение на три одинаковых изображения, которые могут проецироваться через цветные фильтры на три передающие камеры. В начале беседы мы уже рассмотрели это решение. Но можно также спроецировать полученные таким образом изображения на экран передающей трубки рядом друг с другом.

Н. — С какой целью? Электронный луч в этих условиях обежит последовательно первую строку красного изображения, затем синего, наконец, зеленого; он вернется затем к красному изображению и т. д.



Л. — А чем это тебе не нравится, милостивый государь? Разве ты не отдаешь себе отчета, что при этом перемежаются строки (чересстрочная развертка), в то время как в системе с диском перемежались полурастры?

Н. — А ведь здесь, по-видимому, можно удовольствоваться меньшей частотой кадров, не опасаясь мерцаний?

Л. — Конечно. И ты можешь догадаться, что при приемѐ все три изображения, записанные вплотную рядом на экране трубки, проецируются одно на другое через фильтры соответствующих цветов наэкран, воссоздающий цветное изображение.

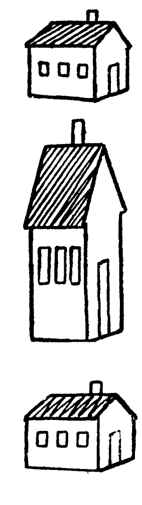
Н. — Система недурна. Но, по-моему, поверхность трубки здесь недостаточно используется, так как три рядом расположенных изображения могут занять на экране только довольно узкую полосу (рис. 136).

Л. — Это не прошло незамеченным для конструкторов системы. С целью устранения этого недостатка они сознательно искажают изображение при пе-

редаче, чтобы покрыть бо́льшую часть экрана (рис. 137). При этом высоту увеличивают по сравнению с длиной. При приеме оптическая проекционная система производит обратное искажение и все приходит в порядок. Мимоходом замечу, что такая метаморфоза с изображением носит наименование анаморфоза.

Н. — Уж не хочешь ли ты сказать, Любознайкин, что, несмотря на все эти «морфозы», можно получить на приемном экране изображение, сколько-нибудь похожее на первоначальное?!

Л. — Почему же нет?... Впрочем, смелость техников не знает границ. Испробовав черескадровую и чересстрочную развертку, они кончили тем, что



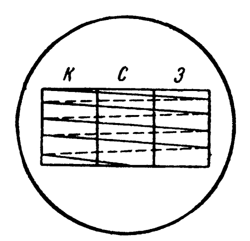


Рис. 136. Развертка трех изображений на одном экране.

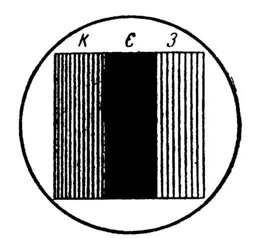
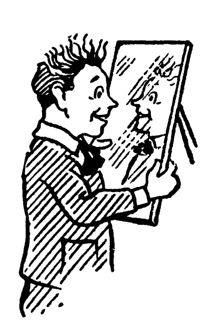


Рис. 137. Анаморфоз изображений при их совместной развертке на одном экране.

производят перемежение точек, иными словами, применяют чересточечную развертку.

Н. — Осторожно, Любознайкин. А то мои мысли тоже начнут перемежаться. Как же можно производить чередование точек?



Размышления о зеркалах

Л. — Предположи, что при помощи какого-нибудь устройства, например дихроичных зеркал, мы разложили изображение на его основные цвета.

Н. — Прости, Любознайкин, но я совершенно не представляю себе, что ты называешь дихроичным зеркалом.

Л. — Так называют полупрозрачные зеркала, которые имеют свойства отражать свет одного из основных цветов, пропуская в то же время свет двух остальных. Предположи, например, что объектив (рис. 138) проецирует пере-

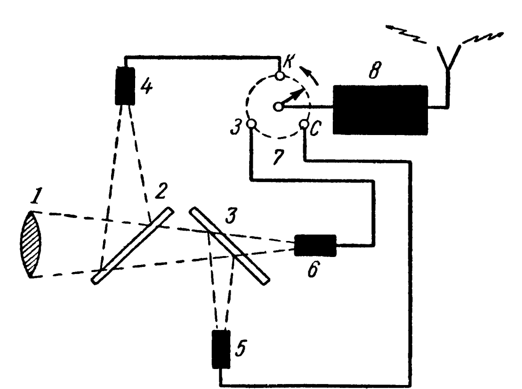
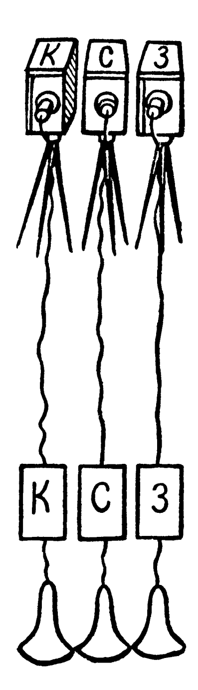


Рис. 138. Разложение изображения на основные цвета дихроичными зеркалами и чересточечная передача с помощью электронного коммутатора (устройство приемника совершенно аналогично).

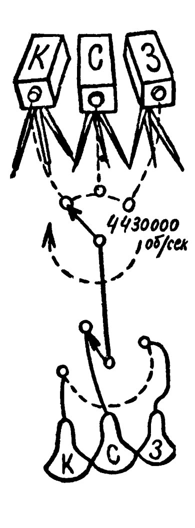
1 — объектив; *2* — зеркало, отражающее красный цвет; *3* — зеркало, отражающее синий цвет; *4* — красный канал; *5* — синий канал; *6* — зеленый канал; *7* — электронный коммутатор; *8* — телевизионный передатчик.



даваемое изображение на первое дихроичное зеркало *2*, наклоненное под углом 45° и отражающее красный свет, но пропускающее синий и зеленый. Отраженные красные лучи попадут на первую камеру *4*. Синие же и зеленые лучи встретят на своем пути второе дихроичное зеркало *3*, которое...

Н. — Конец истории я угадываю. Второе зеркало отразит синие лучи по направлению к камере *5*, пропустив зеленые лучи к камере *6*.

Л. — Так именно обстоит дело. Благодаря этому каждая камера развернет одно из трех изображений в основных цветах.



Н. — Останется только передать эти три изображения на три трубки, расположенные подобно камерам *4, 5* и *6*, которые восстановят при помощи двух других дихроичных зеркал цветное изображение.

Л. — Нужно только, чтобы свечение каждой трубки было соответствующего цвета. Этого добиваются, либо помещая цветной фильтр перед каждым экраном, либо, еще проще, используя в качестве люминофоров вещества, непосредственно светящиеся желаемым цветом.

Н. — А требуются ли все же три телевизионных канала?

Л. — Это было бы очень печально. В современных системах нашли более изящное решение. Специальный переключатель дает возможность последовательно передавать и получать сигналы каждой из трех камер, и все это со скоростью 4 430 000 переключений в секунду, производимых для каждого цвета.

Н. — Не смейся надо мною, Любознайкин. Не можешь же ты серьезно утверждать, что переключатель вращается со скоростью 4 430 000 *об/сек*, переключая последовательно выходы трех камер?!

Л. — Я никогда не говорил о механическом переключателе. Речь идет, конечно, об электронном переключателе. Благодаря его чудесному проворству сигналы от трех камер сменяются с интервалом лишь 0,0753 *мсек*. Ты видишь, что мы перемежаем сами точки при составлении единого сигнала. Конечно, при приеме используется аналогичный строго синхронизированный переключатель для распределения соответствующих сигналов между тремя трубками.

Великое изобретение Незнайкина



Н. — Все это уж очень сложно. Мне в голову пришла несравненно более простая идея, которая, я утверждаю это со всей скромностью, дает окончательное разрешение проблемы цветного телевидения. Я сообщу ее тебе по секрету.

Л. — Признаюсь, что ты меня заинтриговал. Что же это за необыкновенная идея?

Н. — Эту идею мне навеяли старинные витражи в соборах, являющиеся настоящей многоцветной мозаикой. Представь себе фильтр, где в каждой строке чередуются крошечные красные, синие и зеленые поверхности, не превышающие размером элемента изображения. Конечно, для двух соседних строк соответствующие поверхности должны быть смещены по фазе; иначе говоря, под красным фильтром первой строки окажется синий фильтр второй и т. д. (рис. 139).

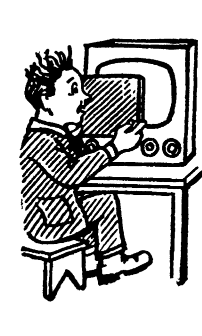
Л. — Все это прекрасно. Но что же дальше?

Н. — А вот что. Предположим, что фильтр, составленный таким образом, расположен перед светочувствительной поверхностью трубки телевизионной камеры обычного телевизионного передатчика, а другой подобный фильтр — перед экраном приемной трубки. Это самое простое средство передать цветные изображения.

К	С	З	К	С	З	К	С	З	К
С	З	К	С	З	К	С	З	К	С
З	К	С	З	К	С	З	К	С	
К	С	З	К	С	З	К	С		
С	З	К	С	З					

Рис. 139. Порядок разложения в системе с чередованием точек в последовательности красный — синий — зеленый.

Л. — Честное слово, ты прав. Действительно, когда при передаче анализирующий пучок пройдет под красной частью фильтра и видеосигнал передаст соответствующую величину освещенности, пятно на приемном экране будет иметь соответствующую яркость и будет просматриваться тоже через красную часть фильтра... Поздравляю, Незнайкин! Ты сделал сенсационное по своей простоте изобретение.



Н. — Заметь, что оно позволяет легко превратить все телевизоры для монохромного телевидения в цветные.

Л. — Подожди, Незнайкин, не торжествуй раньше времени.

Н. — Как, опять будет «но»?

Л. — Увы, и довольно основательное. Чтобы твоя система хорошо работала, потребовалась бы идеальная идентичность движения развертывающих лучей при передаче и приеме. Малейший фазовый сдвиг оказался бы катастрофичным вследствие нарушения соответствия цветов. В то же время не существует развертывающих устройств в достаточной степени линейных, чтобы обеспечить столь высокую точность развертки. Таким образом, при тех средствах, которыми располагает современная техника, идея твоя неосущест-

вима. Но, кто знает, может быть в один прекрасный день доведется нам услышать о «системе Незнайкина».

Н. — А я-то думал...



Батарея из трех пушек

Л. — Твоя идея несколько сходна с другой, более легкой для осуществления, которая в настоящее время получила наибольшее распространение. В системах с чересточечной разверткой можно использовать на приеме трубку, сам экран которой может воспроизводить три основных цвета. Он выполнен в виде мозаики, похожей на мозаику фильтра твоего изобретения, причем каждая элементарная поверхность светится одним из трех основных цветов благодаря особому химическому составу люминофора.

Н. — И, правда, до сих пор все совпадает с моей идеей.

Л. — Но дальше все по-иному. Трубка снабжена тремя электронными пушками, каждая из которых предназначена для возбуждения одного из трех основных цветных люминофоров.

Н. — А как же сделать, чтобы пучок каждой пушки попадал только на точки экрана соответствующего цвета?

Л. — В этом-то и заключается основное ухищрение. Между пушками и экраном помещена «маска» (рис. 140), нечто вроде перегородки со множеством

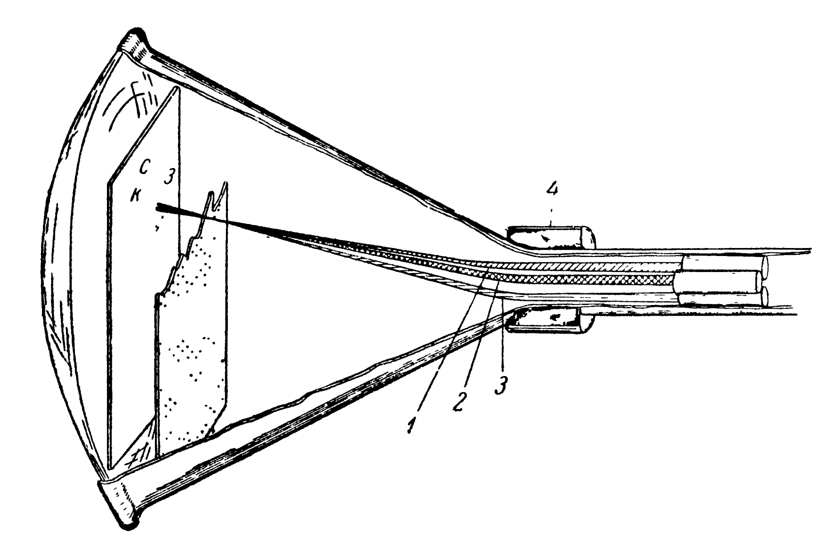
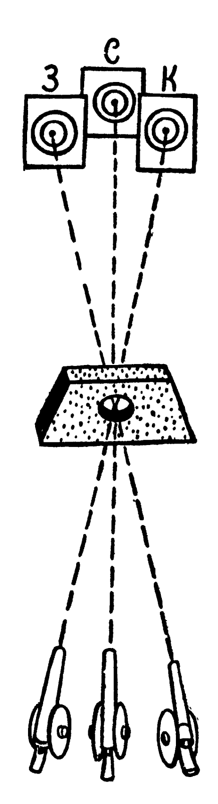


Рис. 140. Разрез трубки с тремя электронными пушками, каждая из которых облучает через отверстия в маске элементарные поверхности только одного из трех основных цветов.

1 — красный прожектор; 2 — зеленый прожектор; 3 — синий прожектор; 4 — отклоняющая система.



отверстий. Каждый из трех пучков, проходя под определенным углом через эти отверстия, может попасть на элементы мозаики только одного и того же цвета свечения благодаря специальному размещению этих элементов на поверхности экрана.

Н. — Это поистине остроумно.

Л. — Однако такая трубка является сложным и дорогим устройством.

Н. — В общем, я вижу, что существует много систем цветного телевидения. Само это многообразие показывает, как мне кажется, что ни одна из них пока не является совершенной.

Л. — Лучшего заключения для нашей беседы ты не мог бы и придумать, дружище.

БЕСЕДА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ И ПОСЛЕДНЯЯ

В конце своих бесед наши приятели разберут последнюю важную проблему телевидения: прием на большой экран. Размер изображений, полученных на люминесцентном экране трубки, может удовлетворить требованиям индивидуального зрителя. Коллективный же прием в зрительном зале вызывает необходимость в проекции изображений на большой экран. Любознайкин и Незнайкин рассмотрят следующие различные аспекты трудной проблемы получения больших изображений: ограниченные размеры приемных электронно-лучевых трубок; проекция с помощью объектива; проблема яркости; специальные проекционные трубки; отражательная оптика; скиатрон; прогресс телевидения.

КОГДА СМОТРЯТ БОЛЬШОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Меры и веса

Незнайкин. — Оставим на время вопрос техники. Я хотел бы коснуться одной психологической проблемы. Вчера вечером мои родители были у своих друзей, имеющих телевизор. Основным их впечатлением оказался слишком малый размер изображения.

Любознайкин. — Да, действительно, такое впечатление часто остается от первого соприкосновения с телевизором. Оно часто возникает от невольного сравнения размеров экрана трубки и киноэкрана.



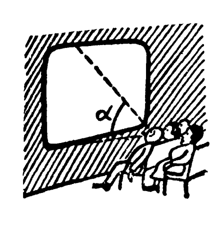
Н. — Совершенно очевидно, что экран телевизора кажется крошечным по сравнению с киноэкраном.

Л. — И, однако, в действительности имеет значение лишь угол, под которым рассматривают изображение. В обоих случаях он может быть одинаковым или даже быть больше в телевидении, если соответственно приблизиться к экрану. Но тогда оказываешься слишком близко и строки развертки становятся слишком различимыми, чего нужно избегать... Я признаю все же, что увеличение размеров изображений желательно со многих точек зрения.

Н. — Почему же не производят больших трубок?

Л. — А ты уже забыл, что мы говорили как-то об атмосферном давлении на стенки трубки?

Н. — Я прекрасно помню, что, учитывая пустоту, которая царит внутри этих трубок, давление будет равно 1 *кГ/см*² их поверхности. Мы даже высчитали, что давление на трубку с экраном диаметром 40 *см* будет равно трем тоннам!



Л. — Правда, удается изготавливать трубки, достигающие 75 *см* в диаметре, у которых коническая часть колбы делается преимущественно стальной, причем нужно, конечно, обеспечить герметическое соединение ее со стеклянным экраном.

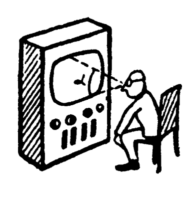
Н. — Если я не ошибаюсь, давление, которому подвергается такая трубка, должно быть порядка десяти тонн, причем около половины давления падает на экран.

Л. — Ты можешь себе представить трубку, победоносно выдерживающую вес десяти легковых машин?

Н. — Конечно, это замечательное достижение. Думается, что дальше по этому пути уже нельзя идти.

Л. — Можно построить трубку, выдерживающую и бо́льшие давления. Но другой фактор начинает ограничивать дальнейшее увеличение диаметра экрана. Догадываешься, о чем идет речь?

Н. — О себестоимости?



Л. — Себестоимость конечно, становится слишком высокой. Но подумал ли ты о том, что ширина обычных дверей равна в среднем около 75 *см* и что оказалось бы невозможным перенести из одной комнаты в другую и даже вообще внести в дом трубку большого размера?

Н. — Признаюсь, я об этом не подумал. Что же делать для получения достаточно большого изображения, которое можно было бы смотреть в зрительном зале?



Преломление и отражение для проекции

Л. — Нужно делать то же, что и в фотографии, где размер негативов имеет тенденцию ко все большему сокращению, тогда как размеры позитивов почти не знают границ.

Н. — Увеличение?

Л. — Именно это.

Н. — Ей-ей! Я должен был бы подумать об этом. Действительно, ничего нет легче. Фотографический увеличитель — это всего-навсего добрый старый волшебный фонарь наших дедов. Значит, стоит поместить перед экраном трубки проекционный объектив, чтобы получить проекцию изображения на экране любых размеров (рис. 141). Это и в самом деле просто!

Л. — Даже слишком! Ведь твое изображение получится недопустимо бледным. При увеличении изображения, например, в 8 раз нужно будет распределить то же количество света на поверхности, площадь которой вырастет в 64 раза.

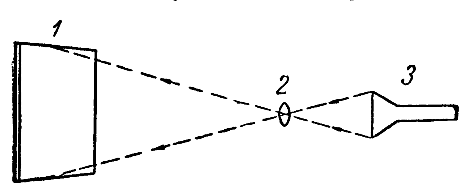


Рис. 141. Система проекции на большой экран с помощью объектива.

1 — экран; *2* — объектив; *3* — проекционная трубка.

Н. — Клянусь кенотроном, действительно получится довольно темное изображение.

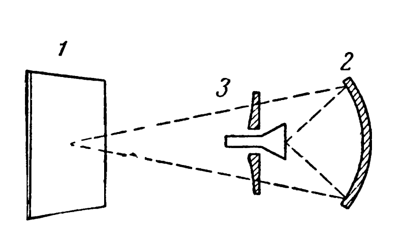
Л. — Темнее, чем ты думаешь. Ведь объектив пропускает только небольшую часть светового потока. Его коэффициент передачи порядка $^1/_{16}$. Значит, в действительности яркость проецируемого изображения будет приблизительно в 1 000 раз меньше яркости изображения на экране трубки.

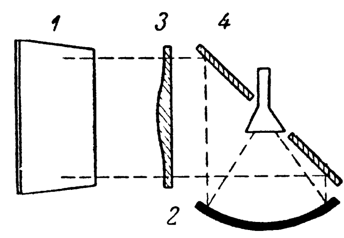


Н. — Нет ли средства усилить эту яркость?

Л. — Именно это и делают в специальных трубках, предназначенных для проекции. Там добиваются высокой яркости путем значительного увеличения скорости электронов, применяя высокие анодные напряжения в несколько десятков тысяч вольт. С силой ударяя по люминесцентному экрану, электроны вызывают появление очень яркого пятна. Электроны с такой скоростью не так-то легко отклонить. Поэтому угол максимального отклонения у проекционных трубок не очень велик и экран их имеет небольшой диаметр. К тому же долговечность их ограничена. Тем не менее благодаря таким трубкам удается создать телевизионные изображения размером с киноэкран.

Н. — Может быть, я скажу глупость. Но если система проекции с объективом может быть уподоблена подзорной трубе, то нельзя ли предусмотреть





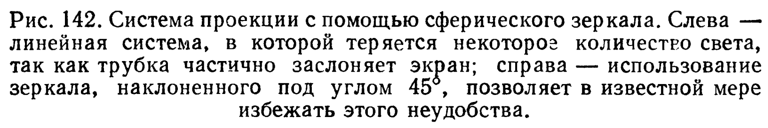
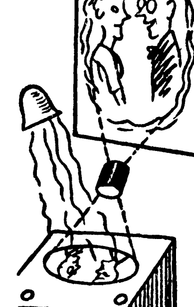


Рис. 142. Система проекции с помощью сферического зеркала. Слева — линейная система, в которой теряется некоторое количество света, так как трубка частично заслоняет экран; справа — использование зеркала, наклоненного под углом 45°, позволяет в известной мере избежать этого неудобства.

1 — экран; *2* — сферическое зеркало; *3* — корректирующая линза; *4* — плоское зеркало, расположенное под углом 45°.



что-нибудь подобное телескопу, т. е. использовать отражение в одном или нескольких зеркалах вместо преломления в одной или нескольких линзах.

Л. — В твоей идее нет ничего нелепого. Больше того, существуют отражательные проекционные системы, обладающие значительными преимуществами по сравнению с системами с объективами (рис. 142). Коэффициент передачи так называемой оптики Шмидта, состоящей из сферического зеркала и корректирующей линзы, примерно в 4 раза выше коэффициента передачи объектива. Зеркало и корректирующая линза, кроме того, проще в изготовлении, чем



объектив такого же качества. Наконец, применение зеркала с наклоном 45° дает возможность удлинить световой луч и уменьшить, таким образом, размеры всей установки.

Н. — В общем, будущее за проекцией при помощи отражательной оптики?

Л. — В этой области, где технике нужно еще многое сделать, трудно ответить определенно. Разве не возник вопрос о применении для этих целей скиатрона...

Игра света и тени

Н. — Что это еще за прибор с греческим корнем?

Л. — На языке Гомера «ски» означает «тень». Скиатрон — это электронно-лучевая трубка, экран которой выполнен из вещества с очень интересным свойством: в том месте, куда попал электронный пучок, экран поглощает направленный на него световой луч с тем большей силой, чем интенсивнее этот пучок.

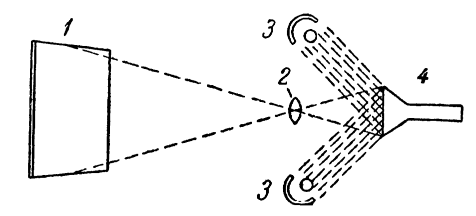


Рис. 143. Система проекции на большой экран со скиатроном.

1 — экран; *2* — объектив; *3* — источники света; *4* — скиатрон.

Н. — Я вспомнил, что такие трубки используются в некоторых радиолокационных станциях для проекции изображения.

Л. — Эти трубки и были созданы в целях использования их в радиолокации. На экран проецируется пучок света желаемой интенсивности (рис. 143). Свет поглощается теми частями экрана, где электронное пятно имеет большую интенсивность, и отражается другими. Таким путем получается изображение, яркость которого зависит только от яркости внешнего источника света, тогда как роль электронного пучка сводится к изменению степени поглощения светового потока. Такое изображение можно спроецировать на большой экран при помощи объектива или сферического зеркала. Существует ряд других систем, в которых так или иначе использован этот же принцип.

Незнайкин произносит заключительное слово



Н. — Я чувствую, что мы затронули бурно развивающиеся области техники.

Л. — Совершенно верно, техника телевидения далеко еще не стабилизовалась и находится в стадии поисков окончательных форм. Это-то в ней особенно и привлекательно. То, что уже сделано, — великолепно. Телевидение достигло степени совершенства кино. Как и кино, телевидение наделено звуком и цветом. Как и в кино, нетрудно будет овладеть третьим измерением, ибо решения проблемы объемности, применяемые в кино, пригодны и в области телевидения.

Но многое еще нужно сделать, и если ты увлечешься этой техникой, твои молодые силы можно будет использовать с большой пользой.

Н. — Полагаешь ли ты мои знания достаточными для того, чтобы немедленно приступить к плодотворной исследовательской работе?

Л. — Скромность никогда не была твоей главной добродетелью!... Нет, Незнайкин, то, что ты узнал во время наших бесед, еще не создало из тебя инженера-исследователя. Я и не старался ни изложить тебе все существующие в телевидении устройства, ни научить тебя, как сделать телевизор. Моей главной целью было дать тебе возможность понять роль и принцип работы различных схемных элементов. Теперь никакая схема, какой бы сложной она ни казалась с первого взгляда, тебя не испугает.

Н. — Я знаю, что ты сейчас скажешь. Ты советуешь всегда делить такую схему на некоторое количество элементарных устройств, которые мы с тобой рассмотрели.

Л. — Совершенно верно. И если ты привыкнешь поступать таким образом, если будешь продолжать следить за успехами телевидения, то, читая книги и специальные журналы, ты убедишься, что телевидение...

Н. — Телевидение?.. Это очень просто!

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 79 коп.